

MODERN RESEARCH: TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INNOVATION TECHNOLOGIES



**III INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE FOR APPLICANTS FOR HIGHER EDUCATION,
OF EDUCATION WORKERS AND SCIENTISTS
28-29 November 2024**

Volume 2

KYIV 2024

Proceedings Of III International Scientific and Practical Conference for Applicants for Higher Education, of Education Workers and Scientists " MODERN RESEARCH: TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INNOVATION TECHNOLOGIES" 28-29 November 2024 Kyiv, UKRAINE

Volume 2

The conference is held according to the plan of the Ministry of Education and Science of Ukraine for 2024 and is registered with the State Scientific Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Information (№ 589, December 20, 2023)”.

ORGANIZERS

1. Ministry of Education and Science of Ukraine.
2. Kyiv Institute of Railway Transport of the State University of Infrastructure and Technologies, Ukraine.
3. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine.
4. University of Žilina, Country Slovak Republic.
5. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Technical Sciences, Poland.
6. Technical University of Koszalin, Koszalin, Poland
7. Tafila Technical University, Jordan.
8. The Institute of Power Engineering, Moldova.

The collection of conference materials is a scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, candidates and Doctors of Science, scientists and practitioners from Ukraine, Europe and other countries. Articles contain researches of modern innovative processes in science. The collection is intended for approbation of scientific research by bachelors, masters, graduate students, doctoral students, teachers and scientific researchers, as well as to expand the scientific horizons of researchers from relevant fields of knowledge and inform a wide range of scientists and practitioners about the existing modern problems in various fields.

The materials are presented in the author's edition

The conference was held by the Kyiv Institute of Railway Transport of the State University of Infrastructure and Technology (Ukraine)

М А Т Е Р І А Л И

III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

28-29 листопада 2024 р., м.Київ

Частина 2

Конференція проводиться за планом Міністерства освіти і науки України 2024 року та зареєстрована у Державній науковій установі «Український інститут науково-технічної інформації (УкрІНТЕІ за № 589 від 20.12.2023р.

Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 28-29 листопада 2024р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, реєстр. УкрІНТЕІ №589 від 20.12.2023, 2024.Ч.2, 376с.

Голова оргкомітету конференції:

Губаревич О.В. – к.т.н., доцент кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Відповідальний секретар конференції:

Муравйов В.М. – к.ф.-м.н., доцент кафедри «Системи штучного інтелекту та телекомунікаційні технології» Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

До електронного збірника увійшли матеріали досліджень, поданих до III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ», яка організована Київським інститутом залізничного транспорту Державного університету інфраструктури при підтримці Міністерства освіти і науки України.

Електронне наукове видання призначено для апробації наукових досліджень бакалаврів, магістрів, аспірантів, докторантів, викладачів та наукових співробітників, а також для розширення наукового кругозору дослідників з транспортної та суміжних галузей знань, інформування широкого кола вчених та практиків щодо існуючих сучасних проблем у транспортній галузі та розвитку міжнародної співпраці.

Матеріали подано в авторській редакції

© КІЗТ Державний університет інфраструктури та технологій, 2024

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ SCIENTIFIC COMMITTEE CONFERENCES

Голова

Твердомед В.М. – к.т.н., доцент, директор Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій.

Заступники голови

Брайковська Н.С. – к.т.н., професор кафедри вагонів та вагонного господарства Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Горобченко О.М. – д.т.н., професор, декан факультету інфраструктури та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, головний редактор Збірника наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Транспортні системи та технології»;

Стрелко О.Г. – д.і.н., професор, декан факультету управління залізничним транспортом Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Губаревич О.В. – к.т.н., доцент, член-кореспондент Академії прикладних наук, доцент кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій.

Члени наукового комітету

Кузнєцов Ю.М. – д.т.н., професор, віце-президент ГО «Національна академія наук вищої освіти України», академік Міжнародної академії наук і інноваційних технологій, професор кафедри конструювання машин Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Саленко О.Ф. – д.т.н., професор, академік ГО «Національна академія наук вищої освіти України», академік Академії інженерних наук України, академік Академії наук національного прогресу України, професор кафедри конструювання машин Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Шинкаренко В.Ф. – д.т.н., професор, академік ГО «Національна академія наук вищої освіти України», професор кафедри електромеханіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Даніленко Е.І. – д.т.н., професор, професор кафедри залізничної колії та колійного господарства Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Кириченко І.О. – д.т.н. професор, професор кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

Ловська А.О. – д.т.н., доцент, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту;

Мазуренко Л.І. – д.т.н., професор, завідувач відділу електромеханіки інституту електродинаміки НАН України, завідувач кафедри електротехніки та електроприводу Київського національного університету будівництва і архітектури;

Мироненко В.К. – д.т.н., професор, завідувач кафедри управління комерційною діяльністю залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Подольцев О.Д. – д.т.н., головний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАН України;

Самсонкін В.М. – д.т.н., професор, професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Тимченко Л.І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри систем штучного інтелекту та телекомунікаційних технологій Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Ткаченко В.П. – д.т.н., професор, завідувач кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Фомін О.В. – д.т.н., професор, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Шавьолкін О.О. – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну;

Шведчикова І.О. – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну;

Волошин Д.І. – к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту;

Гулак С.О. – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій;

Кравець А.М. – к.т.н., доцент, завідувач науково-дослідної частини Українського державного університету залізничного транспорту;

Мелконов Г.Л. – к.т.н. доцент, доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

Мелконова І.В. – к.т.н., доцент, зав. кафедри електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля;

Петруха Н.М. – к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Atef Saleh Almashakbeh – Professor, Vice President for Academic Affair, Tafila Technical University, Jordan;

Abdullah Eial Awwad – Doctor of Electrical Engineering Sciences, Professor, Electrical Power and Mechatronics Engineering Department, Tafila Technical University, Jordan;

Eyad Kh Almaita – Professor At Power And Mechatronics Engineering Dept. In Tafila Technical University, Jordan;

Ján Dižo – PhD, Associate Professor of the Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina, Slovak Republic;

Ion Comendant – Ph.D, Institute of Power Engineering of the Technical University of Moldova, Republic of Moldova;

Juraj Gerlici – Professor, Dr. Ing. Head of the Department of transport and handling machines, Faculty of Mechanical Engineering, University of Zilina, Slovak Republic;

Kateryna Kravchenko – Associate Professor, Ph.D. research of the Department of transport and handling machines, The Faculty of Mechanical Engineering, University of Zilina, Slovak Republic;

Michał Duda – Doctor of Technical Sciences, Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;

Mihai Tirsu – Doctor of Engineering, Managing Director at Institute of Power Engineering of Technical University of Moldova, Republic of Moldova;

Mikhail Sit – Ph.D, Assistant Professor - Researcher, Leading Researcher Chisinau, Institute of Power Engineering of Technical University of Moldova, Republic of Moldova

Mirosław Bramowicz – Doctor hab. inż., Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Warmia and Mazury University in Olsztyn, Poland;

Mohamed Qawaqzeh – Associate Professor Al-Balqa Applied University, Department of Electrical and Electronics Engineering (Jordan);

Oleksandr Kravchenko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina, Slovak Republic;

Paś Jacek – Professor of Technical Sciences, Department of electronics, Institute of Electronic Systems, Military University of Technology, Warsaw, Poland;

M.S. Priyadarshini – Dr, Ph.D, Professor and Head, Department of Electrical and Electronics Engineering K.S.R.M., College of Engineering (Autonomous), Kadapa, India;

Szymon Racewicz – Doctor of Technical Sciences, Assistant professor, Faculty of Technical Sciences, Department of Mechatronics of the Warmia and Mazury University in Olsztyn, Poland;

Sławomir Wierzbicki – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechatronics, Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland;

Stanislaw Duer – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Energy, Faculty of Mechanical Engineering and Power Engineering, Technical University of Koszalin, Poland, Koszalin;

Valentin Oleschuk – Doctor of technical science, Chief (Principal) researcher Institute of Power Engineering of Technical University of Moldova, Republic of Moldova;

Wojciech Sobieski – Doctor of Technical Sciences, Professor UWM, Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland.

ЗМІСТ TABLE OF CONTENTS

Секція 3: УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ	
Section 3: MANAGEMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS.....	19
<i>Безушко О. Є., М Хилько І. І.</i> ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPTIMIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES IN UKRAINE.....	19
<i>Виноградов О.С.</i> ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ THE IMPACT OF RISK MANAGEMENT ON THE ACTIVITIES OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS.....	22
<i>Вільшанюк М.І., Вільшанюк М.С.</i> ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА В КОНТЕЙНЕРАХ ORGANIZATION OF GRAIN TRANSPORTATION IN CONTAINERS....	25
<i>Войченко Т.О., Радченко О.А.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ESG - АНАЛІЗУ IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BASED ON ESG – ANALYSIS.....	29
<i>Галькевич М.В.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ PROSPECTS FOR ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE LOGISTICS INFRASTRUCTURE OF UKRAINE.....	34
<i>Гриценко Н.В.</i> СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ СПРЯМОВАНИЙ НА СТВОРЕННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ THE MODERN APPROACH TO MANAGEMENT IN TRANSPORT LOGISTICS IS DIRECTED TO THE CREATION OF INTEGRATED SYSTEMS.....	38
<i>Добровольський О.В.</i> ІНТЕГРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСЬКУ ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ В УКРАЇНІ: ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МОБІЛЬНОСТІ	

INTEGRATION OF RAILWAY TRANSPORT INTO THE URBAN TRANSPORT SYSTEM IN UKRAINE: SOLVING MOBILITY CHALLENGES	43
<i>Зікрач В.О., Коротков В.В., Марков Р.Д., Ткачук Ю.В., Примаченко Г.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ STUDY OF THE DURATION OF CARGO DELIVERY BY RAIL TRANSPORT.....	49
<i>Майданюк В.В., Сиволап Н.В., Торопов Б.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ RESEARCH AND IMPROVEMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION BY INCREASING THE EFFICIENCY OF ROLLING STOCK UTILIZATION.....	53
<i>Мордига В.О., Морнева М.О.</i> ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ PROBLEMS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICITY AND THERMAL ENERGY PRODUCTION.....	56
<i>Петрик С.В., Шульдінер Ю.В.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЛЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОЇ ДОСТАВКИ КАКАО БОБІВ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ OPTIMIZATION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION FOR SEAMLESS DELIVERY OF COCOA BEANS IN THE CONTEXT OF GLOBAL LOGISTICS CHALLENGES.....	59
Секція 4: ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ Section 4: RENEWABLE ENERGY, ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY.....	62
<i>Бележинський О.Ю.</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕТРОПОЛІТЕНУ PROMISING ROUTES FOR CHANGES IN ENERGY SUPPLY TO THE METRO.....	62
<i>Богуславський Д.С., Каращук В.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ THE USE OF ALTERNATIVE FUELS FOR VEHICLES.....	68
<i>Большак А.В., Бондар О.І.</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	

USING OF MODERN SEMICONDUCTORS FOR REDUCING TECHNOLOGICAL LOSSES OF ELECTRICAL ENERGY IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES.....	71
Бондар О.І.	
ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛІНІЙ ДПР	
WAYS OF IMPROVING ELECTRICITY QUALITY INDICATORS DURING THE MODERNIZATION OF TWR LINES.....	74
Буряк С.Ю., Гололобова О.О.	
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ АКУМУЛЯТОРІВ	
ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON BATTERY LIFE.....	78
Гаман Ю.С., Шавьолкін О.О.	
ГІБРИДНА СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ, ГАЗОВОГО ГЕНЕРАТОРА ТА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ	
HYBRID POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES, GAS GENERATOR AND ELECTRIC VEHICLES FOR LIVESTOCK FARM.....	83
Дауд В., Вакарчук С.	
ГАЗОВИЙ ПАЛЬНИК ТИПУ "ДАВА" З РЕЖИМОМ ЗМІННОГО НАВАНТАЖЕННЯ	
NATURAL GAS COMBUSTION TYPE "DAVA" WITH VARIABLE LOAD FUNCTIONS.....	86
Захарченко Л.Л., Тихонов І.В.	
ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ, ЯК СПОСІБ ЗМЕНШЕННЯ ВИКІДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: АНАЛІТИКА ТА УЧАСНИКИ РИНКУ	
USE OF WIND ENERGY AS A WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS: ANALYTICS AND MARKET PARTICIPANTS.....	92
Іванов К.І., Чернищенко Є.Г., Рябов Є.С.	
АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МОТОРВАГОННОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ	
ANALYSIS OF AREAS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTIPLE UNIT ELECTRIC ROLLING STOCK.....	96
Костиця М.В., Кошель Н.Д., Корнач С.В., Костиця В.В.	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕЄМНОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ АКУМУЛЯТОРНИХ СИТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	
INCREASING THE ENERGY CAPACITY OF ELECTRODES OF BATTERY SYSTEMS OF VEHICLES.....	99
Курепін В.М.	
ЕНЕРГІЯ ПРИЛИВІВ - ЧИСТА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЛЮДСТВА	
TIDAL ENERGY - PURE ENERGY FOR HUMAN LIVES.....	102

Лазіс М.І.

АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА: КРОКИ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ ALTERNATIVE ENERGY: HOURS TO UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE.....	107

Левицький М.Є., Мороз О.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ТА КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДОМОГОСПОДАРСТВ STUDY OF TYPES AND KEY PARAMETERS OF HOUSEHOLD SOLAR POWER PLANTS INVERTERS.....	112

Ляшенко В.І., Камінський В.Р., Комаров С.В.

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ БАГАТОЖИЛЬНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КАБЕЛЮ CALCULATION OF TEMPERATURE FIELDS OF STRANDED ELECTRIC CABLE.....	115

Малий Я.С., Шведчикова І.О.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ ПОШТОВОГО ДЕПО CHARACTERISTICS OF THE ELECTRICAL LOADS OF THE STORAGE ROOM OF THE POSTAL DEPOT.....	120

Мотрунич І.В.

ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ RENEWABLE ENERGY IN UKRAINE'S TRANSPORT INFRASTRUCTURE UNDER MODERN CONDITIONS.....	123

Оберемок Д.О.

ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ PROSPECTS OF THE INTEGRATION OF SOLAR POWER PLANTS AND ENERGY STORAGE SYSTEM IN ELECTRIC NETWORKS.....	127

Пічкур Т.В., Висоцька Т.І., Пронько А.С.

ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ УКРАЇНИ HELIOENERGETYCHNYU POTENTIAL UKRAINE.....	130

Сімченко М.О., Муравйов В.М.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТУ ЯК СТРАТЕГІЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ: РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ, КАРШЕРИНГУ ТА РОЗУМНЕ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ENERGY EFFICIENCY OF TRANSPORT AS A STRATEGY FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION: DEVELOPMENT OF ELECTRIC TRANSPORT, CAR SHARING AND SMART PLANNING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE.....	133

Скосар В.Ю., Комаров С.В., Бурилов С.В., Дзензерський В.О. РЕЦІКЛІНГ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ RECYCLING OF LITHIUM BATTERIES.....	136
Скосар В.Ю., Шкіль Ю.В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ THE WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC TRANSPORT.....	139
Сорочинська О.Л. Малишева К.Д. ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ DECARBONIZATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT INDUSTRY.....	144
Сторожук А.М., Ковальчук В.В. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ДІЯЛЬНІСТЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ENERGY-SAVING ACTIVITIES AT RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES.....	149
Суслов В.М., Бошняга В.А. НЕСИМЕТРІЯ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ С СИЛОВИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ 10/0,4 КВ З ТИПОВИМИ СХЕМАМИ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК, ЩО МІСТИТЬ ПОНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ VOLTAGE ASYMMETRY IN THE DISTRIBUTION NETWORK WITH 10/0.4 KV POWER TRANSFORMERS WITH TYPICAL WINDING CONNECTION SCHEMES CONTAINING RENEWABLE ENERGY SOURCES.....	153
Тоберт О. Ю., Миргород Д.Г., Мірошник О.О. ОСОБЛИВОСТІ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ FEATURES OF COOPERATION OF SOLAR POWER PLANTS AND ENERGY STORAGE SYSTEMS.....	158
Тоберт М.Ю., Мороз О.М. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ RESEARCH ON THE STRUCTURE OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM AND THE PURPOSE OF ITS ELEMENTS.....	161
Усцов Т.А., Губаревич О.В. ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РЕОСТАТНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ТЕПЛОВОЗІВ USE OF ELECTRICAL ENERGY RECOVERY DURING RHEOSTATIC TESTS OF THERMAL TRUCKS.....	164
Філімоненко К.В., Філімоненко Н.М. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТИКИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ	

УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО І ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ STUDY OF THE POSSIBILITY OF DIAGNOSTIC HIGH VOLTAGE EQUIPMENT WITH THE HELP OF ULTRAVIOLET AND THERMAL VISION CONTROL.....	167
<i>Comendant I.T., Prepelita Iu.M., Turcuman L.V.</i> LOAD CURVE SMOOTHING IMPACT ON WIND AND PHOTOVOLTAIC SOURCES PENETRATION IN THE NATIONAL ELECTRICITY SYSTEM.....	172
<i>Sit M.L., Juravliov A.A., Timchenko D.V., Lupu M.L., Uzun G.</i> HEAT PUMPS USE IN ENERGY TRANSITION.....	177
Секція 5: МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ Section 5: MODELING, OPTIMIZATION AND FORECASTING IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS.....	182
<i>Алексєєв Н.О., Кириченко О.С.</i> РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ГРЕБНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ SPEED REGULATION OF THE ELECTRIC MOTOR OF THE DC ELECTRIC PROPULSION SYSTEM.....	182
<i>Білецька А.В., Кокряцька Н.І.</i> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ Й ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ DEVELOPMENT TENDENCIES OF SPECIALIZED INFORMATION AND COMPUTER TECHNIQUE TOOLS.....	188
<i>Білодід О.А., Воронко І.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ КОНТЕЙНЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ LXC У ПОРІВНЯННІ З KVM В ХМАРНИХ ІНФРАСТРУКТУРАХ RESEARCH OF OPTIMISATION AND SECURITY OF CONTAINER TECHNOLOGIES BASED ON LXC IN COMPARISON WITH KVM IN CLOUD INFRASTRUCTURES.....	193
<i>Білоцький В.В., Горобченко О.М.</i> НЕЧІТКА МОДЕЛЬ АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ЗАКУПІВЛІ В ЗАЛІЗНИЧНІЙ ГАЛУЗІ FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS MODEL FOR PROCUREMENT DECISION MAKING IN RAILWAY INDUSTRY.....	197
<i>Брайковський М.Є., Тимченко Л.І.</i> РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ МЕРЕЖІ ЧЕРЕЗ СТАТИСТИЧНО ОРІЄНТОВАНУ МАРШРУТИЗАЦІЮ DEVELOPMENT OF INTELLIGENT NETWORK FUNCTIONS THROUGH STATISTICALLY ORIENTED ROUTING.....	201

Воробйова С.С., Хилько І.І. ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ВЕЛИКИХ ДАНИХ (BIG DATA) FORECASTING IN AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON BIG DATA.....	204
Герцій О.А., Гладий В.В. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ В СКЛАДНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF OPERATION IN COMPLEX AUTOMATED SYSTEMS.....	208
Гладий В.В., Голуб Г.М. ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РІШЕНЬ КОНТРОЛЮ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE CONTROL SOLUTIONS IN COMPUTERIZED SYSTEMS.....	212
Голуб Г.М., Руденко Ю.С. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ METHODS FOR OPTIMIZING SOLUTIONS TO THE TRANSPORTATION PROBLEM.....	215
Данак О.Ю., Стасюк О.І. РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ У ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ: ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ EFFICIENT ENERGY USE IN MANUFACTURING: APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL IMPACT.....	218
Демченко Д.С., Голуб Г.М. ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES INTO THE PROCESS OF MONITORING AUTOMATION FACILITIES IN RAILWAY TRANSPORT.....	221
Журенко О.І. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ APPLICATION OF MODERN APPROACHES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATED CONTROL.....	226
Зорька В.О., Незліна О.А. АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПЕКИ РУХУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ГАЛЬМОВИМ ОБЛАДНАННЯМ ЛОКОМОТИВІВ ANALYSIS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAFFIC SAFETY	

BY IMPROVING LOCOMOTIVE BRAKE EQUIPMENT MANAGEMENT PROCESSES.....	230
<i>Казмірчук О.В., Герцій О.А.</i> ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ FPV ДРОНА FEATURES OF FPV DRONE CREATION AND PROGRAMMING.....	233
<i>Казмірчук О.В., Кульбовський І.І.</i> РЕТРОСПЕКТИВА РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ RETROSPECTIVE OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS DESIGN METHODS.....	237
<i>Коровченко Р.В., Воронко І.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ RESEARCH OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES IN DISTRIBUTED SYSTEMS.....	241
<i>Корчовий В.А., Гончарова Л.Л.</i> РИЗИКИ ТА ВРАЗЛИВОСТІ СИСТЕМ SCADA ТА ICS В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ RISKS AND VULNERABILITIES OF SCADA AND ICS SYSTEMS IN POWER SUPPLY SYSTEMS.....	245
<i>Кубрак А.В., Голуб Г.М.</i> МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДАНИХ У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ METHODS OF ENSURING DATA SECURITY IN MULTI-TIER SYSTEMS.....	248
<i>Кузнєцов Ю.М., Кобець І.Р.</i> РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ЧОТИРЬОХКООРДИНАТНОГО НАСТІЛЬНОГО ВЕРСТАТА DEVELOPMENT OF THE CONTROL PROGRAM OF A FOUR- COORDINATE DESKTOP MACHINE.....	251
<i>Кузнєцов Ю.М., Столярчук Д.П.</i> РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ З ДОДАТКОВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ DEVELOPMENT OF CONTROL PROGRAM FOR WELDING PIPES WITH ADDITIONAL ELEMENTS.....	256
<i>Лісовенко І.С., Голуб Г.М.</i> РОЛЬ CRM-СИСТЕМ У ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ THE ROLE OF CRM SYSTEMS IN IMPROVING CUSTOMER SERVICE QUALITY.....	259
<i>Миронов О.Г., Герцій О.А.</i> ФОРМУЛЮВАННЯ БАЗОВИХ СУТНОСТЕЙ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ THE FORMULATION OF BASE ENTITIES OF THE EXPERT SYSTEMS.....	262

Нестеренко О.Б., Кульбовський І.І.

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ ЗАКУПІВЛІ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА CONCEPT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM IN PROJECT MANAGEMENT FOR THE PROCUREMENT OF ELEMENTS OF A ROBOTIC PRODUCTION ENVIRONMENT.....	267

Островецький В.В., Голуб Г.М.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНИХ ВИМІРЮВАННЯХ PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-BASED TECHNOLOGIES IN TRANSPORT MEASUREMENT.....	272

Панков Є.С.

ЗАСТОСУВАННЯ SCADA СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ APPLICATION OF SCADA SYSTEMS FOR RAIL TRANSPORT.....	274

Панков Є.С., Кульбовський І.І.

ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЯК ЧАСТКОВІ РІШЕННЯ У ПРОЦЕСІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ OPTIMIZATION MODELS AS PARTIAL SOLUTIONS IN THE PROCESS OF SYSTEMS ANALYSIS.....	277

Пасічник А. М., Худа Ж. В., Циба В. В.

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ГІЛОК І ГРАНИЦЬ OPTIMIZATION OF ROAD CARGO TRANSPORTATION ROUTES WITH USING THE METHOD OF BRANCHES AND BORDERS.....	280

Пригорницький Є.В., Кульбовський І.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ RESEARCH OF METHODS AND TOOLS FOR CYBERSECURITY OF DISTRIBUTED DATA PROCESSING AND ANALYSIS SYSTEM...	284

Проскурняк А.В., Кудін А.С., Стасюк О.І.

ВИКЛИКИ ПРИ СИНТЕЗІ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНІВ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В УМОВАХ АКТИВНОГО ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ CHALLENGES IN SYNTHESIZING MODELS FOR ANALYZING POWER GRID STATES UNDER ACTIVE MILITARY CONFLICT CONDITIONS.....	286

Пустовий В.А., Бухер Д. М.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ MODERN APPROACHES TO MODELING AND OPTIMIZATION OF PROCESSES IN AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS.....	289

Рагуліна А.О., Хилько І.І.	
АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ: ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕСУРСІВ AUTOMATED AGRICULTURAL MANAGEMENT: YIELD FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION.....	292
Рибаченко Я.М., Кульбовський І.І.	
АНАЛІЗ КЕЙСІВ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ В ПРОЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ CASE ANALYSIS OF EFFECTIVE COMMUNICATIONS MANAGEMENT IN WORLD PRACTICE IN RAILWAY TRANSPORT PROJECTS.....	296
Сахно А.О., Герцій О.А.	
МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА СТІЛОК ТА СИГНАЛІВ MICROPROCESSOR SYSTEM OF SWITCHES AND SIGNALS.....	300
Саченок Д.С., Голуб Г.М.	
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS FOR THE RELIABILITY OF INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS.....	304
Сорока А.В.	
ІШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE....	309
Сухопара О.М., Смолянінов В.Г.	
ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМ КРОКОВИМ ПРИСТРОЄМ OPTIMIZATION OF CONTROL OF A LINEAR STEPPER DEVICE.....	314
Ткачук М.С., Кульбовський І.І.	
ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ APPLICATION OF A MODULAR APPROACH TO THE ORGANIZATION OF COMPUTER SYSTEMS OF RAILWAY AUTOMATION.....	317
Троянівський В.І., Гончарова Л.Л.	
РОЛЬ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ THE ROLE OF MATHEMATICAL MODELS IN THE ORGANIZATION OF INTELLECTUAL NETWORKS OF THE RAILWAY TRANSPORT POWER SUPPLY SYSTEM.....	320
Туман К.О., Кириченко О.С.	
СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ REMOTE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR DIESEL GENERATORS.....	323

Хилько І.І., Зерницька К.О.	
ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ APPLICATION OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS FOR OPTIMIZATION OF ENTERPRISE COSTS IN CONDITIONS OF ECONOMIC INSTABILITY.....	329
Шановалов Р.Ю., Герцій О.А.	
МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ РЕЙКОВИХ КІЛ MICROPROCESSOR SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL OF RAIL WHEEL PARAMETERS.....	333
Шпак В.В., Прокопенко П.М.	
РОЗРОБЛЕННЯ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ РАМИ ВІЗКА ТЕПЛОВОЗА 2ТЕ116 DEVELOPMENT OF THE FINITE ELEMENT MODEL OF THE 2TE116 LOGO CARRIAGE FRAME.....	337
Щербина В.В., Кириченко О.С.	
ГРЕБНІ ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ З КЕРОВАНИМИ ВИПРЯМЛЯЧАМИ ROWING ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH CONTROLLED RECTIFIERS.....	341
Bykova E.V., Vasiliev I.V.	
METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORECASTING FUEL CONSUMPTION AND GHG EMISSIONS FROM RAIL TRANSPORT...	345
Duer R., Duer S., Woźniak M., Harničárová M., Paś J., Bernatowicz D.	
USING THE THREE-VALUED LOGIC OF CONDITIONS IN THE INTELLIGENT DIAGNOSTICS PROGRAMME (DIAG) OF A RADAR SYSTEM.....	351
Kushnirenko K.Y., Voronko I.O.	
MODELING PROCESSES IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS USING MATLAB.....	358
Paś J., Wiśnios M., Tatko S., Mazur M.	
PASSIVE AND ACTIVE METHODS OF PROTECTION ELECTRONIC COMPONENTS AND DEVICES OF SECURITY SYSTEMS AGAINST DESTRUCTIVE EFFECTS IN BUILDINGS STRUCTURES.....	361
Sobieski W., Duda M.	
MECHANICAL MIXERS AND MIXING POWER.....	366
Zaremba A., Tytuła J.	
COMPARISON OF ACCURACY BETWEEN A MAGNETIC ENCODER AND A PRECISION MULTI TURN POTENTIOMETER.....	371

СЕКЦІЯ 3: УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

SECTION 3: MANAGEMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ

Безушко О.Є. – здобувач вищої освіти, bezuskoelena26@gmail.com

Хилько І.І. – старший викладач, hilko@mnaui.edu.ua

Миколаївський національний аграрний університет

Україна, м. Миколаїв

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPTIMIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES IN UKRAINE

Bezushko O.E. – higher education student, bezuskoelena26@gmail.com

Khyliko I.I. – Senior Lecturer, hilko@mnaui.edu.ua

Mykolaiv National Agrarian University

Ukraine, Mykolaiv

Abstract. *The study is devoted to the possibilities of using artificial intelligence to optimize transport and logistics processes in Ukraine. Modern AI algorithms make it possible to automate route planning and transport management, which helps reduce logistics costs and increase delivery efficiency. One of the key areas is the optimization of vehicle loading, which ensures a more rational use of resources and reduces the number of flights. Thanks to demand forecasting and big data analysis, companies can more accurately plan their logistics operations, increasing their competitiveness in the market. AI technologies also contribute to increasing the safety of transportation by preventing possible technical malfunctions of vehicles.*

Keywords: *Transport and logistics processes, CRM system, logistics sector, artificial intelligence, internet of things system*

Актуальність дослідження зумовлена тим що логістичний сектор забезпечує ефективне розміщення товару та ресурсу не тільки всередині країни, але і за її межами, тому розвиток транспортно-логістичних систем в Україні є доволі критичним процесом. Інтеграція ІІІ технологій набирає все більшого попиту через зростаючу конкуренцію на ринку. Штучний інтелект дозволить не тільки отримувати інформацію про місцезнаходження товару в реальному часі, але і відстежувати стан вантажів, що є дуже важливим, адже для логістичних

компаній важливо не тільки подбати про безпеку під час перевезень, але і задовільнити клієнта.

Дослідженню питань впровадження штучного інтелекту в логістичні процеси присвятили свої праці такі вітчизняні та зарубіжні науковці як В.С. Яковенко, який досліджував застосування ШІ в системах дистрибуції, С. Мадакам, Р. Рамасвами та С. Тріпаті, які вивчали впровадження інтернету речей у логістичні процеси, О.В. Христофор та В.М. Мельник, які розглядали питання цифровізації логістичних операцій, П.В. Попович, який досліджував аналітичні інструменти в транспортній логістиці.

Метою роботи є проведення оглядового дослідження стосовно штучного інтелекту та дослідити новітні технології які допоможуть підвищити конкурентоспроможність українських транспортно-логістичних компаній на міжнародному ринку.

Штучний інтелект дуже вдало поєднує людський інтелект з новітніми технологіями. Прикладом вдалого налагодження роботи штучного інтелекту і логістичних процесах є планування. В процесах планування логістичних процесів використання штучного інтелекту може навіть перевершити людський потенціал. При плануванні логістичної діяльності досвід, відповідальність, специфіка обслуговування клієнтів, гнучкість, здоровий глузд у поєднанні з автоматизацією повторюваних процесів приносить більший синергетичний ефект [1]. Використання штучного інтелекту має значні переваги у використанні такі як, автоматизація рутинних завдань, швидкість і точність, робота 24 години, зменшення витрат та ризиків. Якщо брати до уваги навіть ці переваги ШІ можемо визначити що для транспортно-логістичних операцій вони матимуть значний вплив на розвиток та зможуть значно краще автоматизувати роботу всередині робочих процесів. На даному етапі розвитку новітніх технологій вже існує безліч програмних забезпечень, що активно використовуються більшістю крупних логістичних компаній України.

Одним із таких прикладів є CRM-система, у транспортному бізнесі дозволяє контролювати доставку вантажу на всіх етапах логістичного ланцюжка та автоматично ставити завдання відповідним співробітникам. Такі системи містять всі необхідні інструменти в одному інтерфейсі, також можуть інтегруватися з іншими програмами, які компанія використовує у роботі [2].

Так і система IoT (Internet of Things) охоплює різноманітний сектор технологій, які вже змінюють роботу логістичних компаній, зокрема це активні і пасивні мітки RFID (мітка радіочастотної ідентифікації), які надають дані про елементи, до яких вони прикріплені. На кожен з предметів, що треба розпізнати наносять мітку транспондер, на якій зберігається вся інформація про об'єкт або

вантаж [3]. На даний момент такі технології вже використовують найбільші логістичні компанії по всьому світу, такі як Amazon, FedEx, DHL та ін.

Висновок. В результаті проведеного дослідження, встановлено що впровадження ІІІ технологій в транспортно-логістичні процеси матиме значний вплив на розвиток логістики в Україні. Оптимізація, автоматизація, управління та прогнозування зможуть значно знизити витрати та скоротити час доставки, також допоможе значно підвищити якість обслуговування клієнтів. ІІІ технології – це технології майбутнього [4], та саме вони є невід’ємним ключем до сталого розвитку логістики.

Л і т е р а т у р а

1. Яковенко В.С. Використання засобів штучного інтелекту у логістичних системах дистриб’юторських компаній // Редакційний колектив / за ред. Ю. Г. Лисенка. 2010. С. 118.

2. Програмні рішення для сфери транспорту і логістики. AVADA-MEDIA: веб-сайт. URL: <https://avada-media.ua/services/programmnyye-resheniya-dlya-sfery-transporta-i-logistiki/> (дата звернення: 19.11.2024).

3. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S. Internet of Things (IoT): A Literature Review. Journal of Computer and Communications. 2015. Vol. 3. P. 164-173.

4. Хилько І.І., Битко Д.К. Штучний інтелект як фактор розвитку економіки. *Менеджмент та маркетинг як фактори розвитку бізнесу* : матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 квітня 2024 р. Національний університет "Києво-Могилянська академія" [та ін.]. Київ : Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", 2024. Т. 2. С. 391-394.

URL : <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44750/1/TEZY.pdf> (дата звернення: 19.11.2024).

ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

*Виноградов О.С. – аспірант, vynohradov_os@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

THE IMPACT OF RISK MANAGEMENT ON THE ACTIVITIES OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS

*Vynohradov O.S. – postgraduate, vynohradov_os@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *One of the stages of risk management in transport systems is the assessment of the risks themselves. The result of evaluating a particular risk may lead to a decision to implement measures aimed at mitigating the impact of such a risk on the management of transport and logistics systems, particularly in the area of traffic safety. These measures may include a series of actions requiring additional resources. This study examines the risk assessment system in accordance with DSTU ISO 31000:2018, which has been implemented into Ukraine's national legislation and incorporated into the Regulations on Traffic Safety Management Systems of transport companies. The analysis focuses on the impact of identified risks of various categories and the adequacy of considering risks in ensuring traffic safety.*

Keywords: *risk management, transport systems, traffic safety, risk assessment system, safety management systems*

Актуальність дослідження зумовлена збільшенням ризиків різних категорій, з огляду на суспільно-політичні обставини у світі, які впливають на діяльність транспортно-логістичних систем. Вчасна ідентифікація, всебічний аналіз та як наслідок, вірна оцінка ризиків сприяє зменшенню їх впливу як на сферу діяльності самої транспортно-логістичної системи, де ризик виникає, так і на безпеку руху транспорту в цілому.

Метою роботи є проведення оглядового аналізу системи оцінки ризиків відповідно до ДСТУ ISO 31000:2018, яка імплементована в національне законодавство України та у Положення про систему управління безпекою руху компаній сфери залізничного транспорту з точки зору впливу ідентифікованих ризиків різних категорій та достатності врахування впливу ризиків на безпеку руху.

Основним документом, на підставі якого прийняте національне українське законодавство в області управління ризиками є ДСТУ ISO 31000:2018 “Менеджмент ризиків. Принципи та настанови” [1]. Згідно з стандартом

оцінка ризику передбачає зіставлення результатів аналізу ризиків з встановленими критеріями ризику для визначення того, де потрібні додаткові дії. Відповідно до вищезазначеного державного стандарту Міністерством інфраструктури України був прийнятий Наказ № 842 від 24.12.2020 року, яким було затверджено Положення про систему управління безпекою руху на залізничному транспорті [2].

Відповідно до положення ризик - кількісна міра небезпеки, що враховує ймовірність виникнення негативних наслідків від здійснення господарської діяльності та можливий розмір втрат від них, а оцінювання ризиків здійснюється у формі аналізу потенційних небезпечних факторів або загроз, які становлять загрозу діяльності підприємства. Оцінювання ризиків здійснюється за двома критеріями: ймовірність настання події чи умов, які завдають шкоди, та серйозність наслідків події чи умови, якщо вони настануть. В свою чергу, безпека на транспорті забезпечується за принципами пріоритетності безпеки руху над господарськими інтересами. З зазначеного автор робить висновок, що кожен ідентифікований ризик з будь-якої категорії ризику повинен оцінюватись з точки зору прийнятності відповідно до встановленого критерію прийнятності на підприємстві щодо безпеки руху. Крім того, самі критерії прийнятності повинні бути встановлені таким чином, щоб безпека руху мала привілейоване значення над можливими вигодами транспортного підприємства від господарської діяльності.

Розглянемо реалізацію оцінки ризиків різних категорій з точки зору безпеки руху на прикладі Політики управління ризиками та можливостями АТ “Укрзалізниця” [3]. Відповідно до Політики процес управління ризиками включає, як аналіз так і оцінку ідентифікованих ризиків.

Аналіз ризиків є основою для оцінки ризиків - прийняття рішень про те, чи потрібно управляти ризиками і як саме, а також про найбільш підходящу стратегію і методи управління ризиками. Отже, саме на етапі аналізу ризику відповідальні за такий аналіз особи повинні визначити чи впливає, в тому числі і опосередковано, ідентифікований ризик на безпеку руху в компанії і в разі такого потенційного впливу необхідно оцінити ідентифікований ризик щодо його прийнятності відповідно до встановлених на підприємстві критеріїв.

Політикою встановлено, що ризики розподіляються по чотирьом категоріям і ризики пов’язані з безпекою руху відносять до операційних ризиків. Політика, також, передбачає, що ризики кожної категорії управляються відповідно до окремих внутрішніх положень для кожної категорії ризику.

Проте, наприклад, ризики віднесені до категорії фінансових ризиків можуть опосередковано впливати на безпеку руху в розрізі зменшення бюджетів на ті, чи інші заходи, що пов’язані з безпекою руху і мають бути

ідентифікованими як операційні ризики, що передбачає необхідність оцінювання такого ризику, як з точки зору і фінансового, і операційного ризику. Відповідно до Політики аналіз, оцінка, вимірювання (кількісна та якісна оцінки): передбачає детальний розгляд невизначенностей, джерел ризику, наслідків, ймовірності, подій, сценаріїв, засобів контролю та їхньої ефективності. Подія може мати декілька причин і наслідків і впливати на декілька цілей. Отже, Політика передбачає необхідність оцінки ідентифікованих ризиків з точки зору їх приналежності різним категоріям, що зобов'язує відповідальних на підприємстві осіб розглядати вплив кожного ідентифікованого ризику на безпеку руху.

Висновок. В результаті проведеного аналізу було з'ясовано, що Положення про систему управління безпекою руху транспортно-логістичних компаній в Україні, на прикладі АТ "Укрзалізниця", передбачають аналіз та оцінку впливу ризиків різних категорій на безпеку руху.

Л і т е р а т у р а

1. ДСТУ ISO 31000:2018. Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 16 с.

2. Наказ Міністерства інфраструктури України від 04.03.2021 № 151 "Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0351-21#Text> (дата звернення 19.11.2024) – Назва з екрану.

3. Політика у сфері управління ризиками в АТ "Укрзалізниця" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.uz.gov.ua/files/file/about/investors/1.1.%20Додаток%20до%20ПРП%20\(Політика\).pdf](https://www.uz.gov.ua/files/file/about/investors/1.1.%20Додаток%20до%20ПРП%20(Політика).pdf). – Назва з екрану.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА В КОНТЕЙНЕРАХ

Вільшаниук М.І. – бакалаврант, maximus06892@gmail.com

Вільшаниук М.С. – ст.викл., maramaxig2406@gmail.com

Одеський національний морський університет

Україна, м. Одеса

ORGANIZATION OF GRAIN TRANSPORTATION IN CONTAINERS

Vilshaniuk M.I. – bachelor, maximus06892@gmail.com

Vilshaniuk M.S. – sen. lecturer, maramaxig2406@gmail.com

Odessa National Maritime University

Ukraine, Odesa

Abstract. *The paper analyzes that container transportation is an inexpensive and convenient way of transportation. Today, this issue is relevant, as Ukraine exports grain in both large and small volumes, using various delivery options. Therefore, transportation of grain in containers for small batches will be a great way to minimize costs and increase cargo safety. Using the method of grain transportation in containers will increase the mobility and independence of market participants from specific traditional delivery methods. The basic requirements for loading and transportation of containers by various modes of transport are the key to high-quality and safe cargo delivery.*

Keywords: *grain, transportation, ship, cargos, containers*

Актуальність роботи зумовлена постійним експортом зерна різними варіантами доставки. Це можуть бути як великі партії з доставкою через порти Одеси, так і незначні партії, що переміщуються через річкові порти Дунаю або автотранспортом. Як один із варіантів для переміщення невеликих партій зерна пропонується розглянути перевезення в контейнерах. На даний момент контейнерні перевезення вважаються найбільш популярними і затребуваними в усьому світі. Завдяки універсальності контейнерів є можливість перевозити їх за допомогою практично всіх видів вантажу. Контейнери стають основним технологічним рішенням передового світового досвіду - мультимодальних перевезень, сприяють розвитку транспортного устаткування і підвищенню рівня інформатизації. За допомогою контейнерних перевезень можна здійснити перевезення «від дверей до дверей».

Метою роботи є удосконалення робіт, направлених на перевезення зерна морським транспортом.

Контейнерні перевезення – це один з найбільш затребуваних та ефективних видів міжнародних вантажоперевезень[1].

Найбільш ефективний і вигідний варіант - міжнародні вантажоперевезення з використанням контейнерів. Факторів на користь саме цього способу транспортування більш ніж достатньо: економія коштів, можливість перевозити

різні види і обсяги вантажу, захищеність, широка географія[2]. Контейнерні перевезення мають свою специфіку в порівнянні з судновими відправками. Незважаючи на те, що обсяги тут невеликі, потрібно бути готовим до того, що часу буде витрачено не менше, аніж з відправкою судна об'ємом вантажу в 80 тис. тон. Важливо досконально прораховувати і планувати кожен етап, оцінюючи різні можливі ризики.

Транспортування зерна з портів України завжди викликає інтерес, оскільки цей вантаж завжди затребуваний багатьма країнами світу. Зерно є одним з основних вантажів, що експортуються з України. Варіанти доставки зерна залежать від розташування країн продавця та покупця, найбільш затребуваним і ефективним є доставка морем[3].

На перший план при перевезеннях зерна в контейнерах висувається вимоги екологічності, безпеки, своєчасності доставки. Ціна грає у цій ситуації менш пріоритетне значення – значно більша роль відводиться часу доставки. Також, при доставці зерна в контейнерах йдеться про невеликі партії. Перевезення зерна в мішках може бути доцільним, коли необхідно доставляти вантажі до слабко обладнаних портів, де немає належного перевантажувального обладнання для своєчасної їх обробки[6].

Завантаження вантажу в контейнер - комплекс заходів з підняття і подальшого розміщення товару або майна всередині транспортного устаткування. Така послуга затребувана, оскільки контейнерні перевезення - недорогий і зручний спосіб транспортування. Технології контейнерних перевезень дозволяють занурювати і транспортувати більшість видів вантажів. Вантажі в контейнерах перевозяться за допомогою залізничних, автомобільних, водних транспортних засобів.

В першу чергу, при виборі морського перевізника – контейнерної лінії сьогодні необхідно виявити наявність потрібної кількості порожніх контейнерів і місця на судні.

Важливо розуміти розрахунковий транзитний час знаходження контейнера в дорозі. Контейнер – це закритий простір, без природної і примусової вентиляції. Відповідно, довге перебування зерна в ньому може позначитися на його якості. Лінійний перевізник не несе відповідальності за якість і кількість вантажу, що знаходиться в контейнері.

У разі, якщо довгого переходу не уникнути або ж вантаж боїться вологи, то необхідно використовувати додаткову сепарацію всередині контейнера, а також силікагель у встановлених нормах.

Немає такої зернової культури або продукту, які не можна було б перевезти в контейнері, або навалом або в мішках, або із застосуванням інших видів тари, матеріалів сепарації. Питання тільки у визначенні, яким саме

способом провести коректне навантаження із застосуванням правильних засобів упаковки або сепарації для кожного виду зерна або продукту переробки окремо за певних умов в призначеному місці.

Для перевезення зерна використовується стандартні універсальні 20-ти футові контейнери, з допустимою масою брутто 30480 кг. Зерно завантажується в контейнерний вкладиш. При цьому використовується до 90% внутрішнього об'єму контейнера, що дозволяє завантажувати в нього до 26000 кг зерна в залежності від порівняльної ваги вантажу.

Але для перевезення зерна необхідно провести конструктивні зміни контейнерів. Для захисту дверей і торцевої стінки контейнера від тиску продукту встановлюється опорна металева конструкція. Це дозволяє контейнеру з запасом витримувати гранично допустимі динамічні навантаження при сортуванні платформ на станції з використанням спуску зверху і транспортуванні залізницею.

При виявленні шкідників слід провести фумігацію контейнерів відповідно до вимог Державної інспекції з карантину та захисту рослин. Не допускається подача контейнерів, поверхня яких покрита абсорбуючі ізоляційними матеріалами, під перевезення вантажів із стійким шкідливим або неприємним запахом.

Існують різні види завантаження, які визначаються в залежності від характеристик вантажу. Ручна або із застосуванням спеціальної техніки - це визначається існуючими нормами. При навантаженні-розвантаженні контейнерів враховують безліч нюансів. Схема і технологія навантаження контейнерів відрізняються для різних типів товару і часто залежать від того, яким видом транспорту буде перевозиться вантаж.

Власне, для навантаження зерна в контейнер потрібен спеціальний вкладиш (лайн-бег). У контейнер вставляється величезний поліетиленовий пакет.

Конкуренція контейнерних перевезень досить висока. І незважаючи на те, що щорічно з ринку йде велика кількість компаній, приблизно такий же відсоток з'являється нових.

У зв'язку з цим сьогодні послуги перевезення зернових вантажів у контейнері пропонують досить велика кількість транспортних компаній, але далеко не кожна може надати необхідний якісний сервіс зі знанням специфіки цієї сфери перевезень.

Надати зерновим компаніям не тільки послугу перевезення, а й додаткові послуги, необхідні в зерновому світі, бути професіоналом не тільки транспортної, але і зернової галузі, розуміти зерновий ринок зсередини - ось

необхідний мінімум, яким повинна володіти транспортна компанія для організації зернової логістики.

Висновок: В умовах швидко мінливої кон'юнктури ринку, перевезення зерна в контейнерах для малих партій стане відмінним виходом для мінімізації своїх витрат і підвищення збереженості вантажу. Залучення способу транспортування зерна в контейнерах дозволить підвищити мобільність і незалежність учасників ринку від конкретних традиційних способів доставки.

Л і т е р а т у р а

1. Контейнерні перевезення. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Електронні дані. Режим доступу: <https://graincomshipping.com/ua/kontejnerni-perevezennya> (дата звернення 08.10.2024)
2. Контейнерні перевезення: переваги і недоліки. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Електронні дані. Режим доступу: [https:// itl-ltd.com/blog/view/konteyinernye-perevozki-preimuschestva-i-nedostatki/](https://itl-ltd.com/blog/view/konteyinernye-perevozki-preimuschestva-i-nedostatki/) (дата звернення 08.10.2024)
3. Вільшанюк М.С., Судник Н.В. Обґрунтування умов ефективного транспортування пшениці з портів України. Наукоємні технології ("Science-Based Technologies"). 2023. (1(57)), 101-107.
4. Експорт зерна та сільгосппродукції. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Електронні дані. Режим доступу: <https://stoles.com.ua/ua/services/agroexport/> (дата звернення 09.10.2024)
5. Дрожжин О.Л. Організація роботи суден контейнеровозів на фідерних лініях. – Одеса: «Одеська морська академія», 2018. 22 с..
6. Вишневський, Д. О., Вишневська О. Д.. "Визначення пріоритетного підходу щодо відбору інформації при організації вантажних перевезень." Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки, 2024, Том 35 (74) № 1, pp. 156-163.

ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ESG - АНАЛІЗУ

Войченко Т.О. – к.е.н., доц., larino101266@gmail.com
Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Ізмаїл
Радченко О.А. – доц. НАУ, mirnau@i.ua
Національний авіаційний університет
Україна, м. Київ

IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BASED ON ESG – ANALYSIS

Voichenko T.O. – Doctor of Economics, Assoc., larino101266@gmail.com
Danube Institute of Water Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Izmail
Radchenko O.A. – Assoc. NAU, mirnau@i.ua
National Aviation University
Ukraine, Kyiv

Abstract. *This study is devoted to identifying approaches to defining and analyzing ESG risks, implementing the concept of sustainable development by transport companies and companies using their services, given existing trade, financial, technological and investment restrictions. We consider one of the approaches to assessing a certain level of sustainable development of companies based on ESG criteria - ESG ratings, which give users an idea of the extent to which the decision-making process in a company is focused on sustainable development, including the extent to which the company takes into account ESG risks, whether the company's work is balanced in each of the areas: ecology, social risks, management risks.*

Keywords: *Sustainable development, ESG risks, transport and logistics systems*

Актуальність дослідження зумовлена пошуком нових драйверів конкурентоспроможності та конкурентної боротьби компаніями транспортно-технологічної сфери, так як ефективна робота транспортних систем базується на принципах екологічного спрямування і соціальної відповідальності.

Метою роботи є дослідження підходів до визначення та аналізу ESG-ризиків та впровадження концепції сталого розвитку транспортно-технологічними системами.

Внаслідок технологічного прогресу, інноваційні технології повсюдно впроваджуються у життя корпорацій, торкаючись всіх сфер економіки. Все частіше прагнення отримати максимальний економічний ефект компаніями від

своєї діяльності змушує їх «забути» про екологічні та соціальні аспекти. Відбувається вичерпування природних ресурсів, погіршення довкілля. Підвищення людської мобільності та прискорення пересування товарів сприяє розвитку транспортної галузі. Обсяги вантажних та пасажирських перевезень зростають щороку, що надає все більшого впливу на екологічне та соціальне середовище.

Впровадження концепції сталого розвитку у переважній більшості випадків тривалий час було переважно прерогативою великих корпорацій, які мають достатні ресурси. Згодом принципи сталого розвитку вийшли за межі корпоративної форми власності та стали вирішальним чином впливати на розвиток територій на регіональному та національному рівнях. Стійкий розвиток передбачає дотримання принципів ESG, які дозволяють враховувати вплив як фінансових, а й нефінансових чинників в розвитку компанії [1, з. 290].

Загалом під ESG-ризиками (факторами) розуміються ризики, пов'язані з потенційним впливом зацікавлених сторін на поточне функціонування та перспективи розвитку компанії, а також ризики, які господарська діяльність компанії надає на її зацікавлені сторони та навколишнє природне середовище [1, с. 291]: екологічні ризики (environmental), соціальні ризики (social), ризики управління (governance). В цілому існує два підходи для розуміння сутності ESG-ризиків: перший – виділення самостійного, окремого виду ESG-ризиків у всій сукупності ризиків компанії, другий підхід розглядає ESG-ризики як причини (чинники) ризику, які можуть призвести до виникнення ризикових подій.

Стійкий розвиток має на увазі одночасне досягнення таких цілей як: економічне зростання, соціальна захищеність, зниження впливу негативних проявів глобального потепління та погіршення навколишнього середовища. У 2015 році Організацією Об'єднаних Націй було прийнято цілі сталого розвитку на період до 2030 року. Багато цілей сталого розвитку безпосередньо стосуються транспортної сфери [2]. Протягом наступних 20 років транспорт стає базовим фактором зростання світового попиту на енергію в більшості країн, що розвиваються. У 2002 році за результатами Світового саміту зі сталого розвитку роль транспорту у сталому розвитку знову була зафіксована у документі, який називається «Йоганнесбурзький план виконання рішень» (JPOI). У цьому плані зафіксовано основні підходи до вироблення політики розвитку транспортних систем та послуг з метою сприяння сталому розвитку.

Для оцінки успішності роботи корпорацій над екологічними, соціальними та управлінськими аспектами своєї діяльності учасниками ринку виробляються спеціальні інструменти оцінки – ESG-критерії.

У зв'язку з оголошенням Євросоюзом у 2021 році про запровадження вуглецевого регулювання у формі транскордонного «карбонового» податку, виникла загроза зниження прибутковості низки галузей та втрати конкурентоспроможності на європейському ринку у зв'язку зі специфікою її галузевої структури експорту [3]. За оцінками фахівців транспортно-логістичної галузі, транспорт генерує приблизно чверть світових викидів парникових газів. Отже зниження емісії парникових газів одна із головних напрямів розвитку «стійкого транспорту» [2]. Йде прискорений розвиток екологічних технологій у галузі: каршеринг на водневому паливі, low steaming – «повільне пропарювання» – експлуатація трансокеанських суден на мінімальній швидкості, літаки із двигунами на сонячних батареях. У сьогоденнішніх реаліях транспортна сфера є однією з ключових сфер при досягненні цілей сталого розвитку, оскільки має сильний вплив на екологічний та соціальний стан країни.

На даний момент оцінку діяльності компаній з позиції ESG-факторів проводить близько 160 організацій, таких як Sustainalytics, MSCI, S&P Global та ін. [4]. Єдиного підходу до оцінки немає, як немає єдиного списку оціночних критеріїв. Кожна організація, яка займається упорядкуванням ESG-рейтингів, розробляє власні методології оцінки. За такого підходу інвестиційний потенціал та привабливість компанії, рівень її соціальної відповідальності залежить від відмінностей у методології оцінки кожного з агентств. Існують дослідження, які показують, що ізольований розгляд ESG-факторів при оцінці досягнення рівня сталого розвитку, а також розбиття цілей сталого розвитку на 3 групи – соціальну, управлінську, екологічну – не дає змоги провести комплексний аналіз існуючих взаємозв'язків між цими факторами [4]. Подібний підхід, який зазвичай використовується рейтинговими агентствами, часто призводить до того, що компанії можуть отримати високі рейтинги ESG за «поганих» умов досягнення цілей сталого розвитку.

Більшість компаній, які є міжнародними перевізниками та службами доставки, успішно впроваджують у свою діяльність інструменти, покликані допомогти їм досягти цілей сталого розвитку. Багато компаній при виборі способу доставки вантажу бажають реалізовувати крім економічних критеріїв вибору транспортної компанії і ESG-критерії, здійснивши цим відповідальний вибір.

Найбільш частим підходом до вибору постачальника транспортних послуг є побудова бально-рейтингової моделі оцінки перевізника за заданими «класичними» критеріями з присвоєнням кожному критерію певної ваги в загальній оцінці з виведенням у результаті загальної кількості балів, отриманих кожним перевізником. В рамках нового «стійкого» підходу доцільно

доповнити існуючу модель ESG-критеріями. Класичні та ESG-критерії представлені у таблиці.

Таблиця - Критерії вибору постачальника транспортних послуг

Критерії	Опис критерію
Класичні	
Вартість доставки	Цей критерій найбільше впливає на прийняття рішення про вибір транспортної компанії, отже надає прямий вплив на кінцеву вартість товару
Термін доставки	Термін доставки впливає на наявність товару на складі та можливість його продажу покупцю
Послуги з безпеки вантажу	Збереження вантажу при транспортуванні та цілісність упаковки (частка випадків надходження вантажу в нетоварному стані)
Можлива затримка часу доставки	Частка випадків затримки доставки від загальної кількості перевезень
Досвід роботи перевізника (у роках)	Чим довше транспортна компанія працює на ринку, тим найкращий варіант доставки вона може запропонувати клієнту
ESG-критерії	
Складання ESG-звітності / розкриття екологічної інформації	Даний критерій дає розуміння того, які дії компанія робить для зниження ESG-ризиків
Відповідність автопарку еко-стандарту «Євро 5»	Дана умова сприяє зниженню вуглецевих викидів
Електронний документообіг	Економія електроенергії; скорочення викидів CO ₂
Відповідальне поводження з відходами	Утилізація акумуляторів, автошин, ламп та ін.
Транспортні засоби на альтернативних джерелах енергії	Електромобілі, використання біопалива. Зниження вуглецевих викидів
Участь в екологічних програмах	Участь в екологічних програмах, підтримка екологічних ініціатив
Страхування вантажу	Зниження витрат у разі псування чи недоставки товару
Відстеження вантажу	Відстеження розташування вантажу в режимі онлайн

Джерело: складено авторами на основі [5, 6, 7]

Загальні висновки. В результаті проведеного дослідження відзначено, що на даний момент відбувається глобальна зміна геополітичної ситуації у світовому масштабі. Незважаючи на складні економічні та геополітичні умови,

жорсткі обмеження, багато компаній транспортно-технологічної сфери та їх клієнти підтримують та реалізують принципи сталого розвитку у своїй діяльності. Розроблено безліч ініціатив, планів та методичних рекомендацій щодо сприяння сталому розвитку компаній за допомогою обліку ними ESG-ризиків, у тому числі в транспортній сфері. Але фактично ESG-інтеграція знаходиться на початковій стадії. Необхідність переходу економіки до нового економічного та технологічного укладу доводить потребу впровадження ESG-принципів у діяльність підприємств транспортної сфери. Грамотний професійний підхід до управління ESG-ризиками та розкриття нефінансової інформації про свою діяльність покликаний допомогти компаніям отримати конкурентні переваги у новій економічній реальності.

Л і т е р а т у р а

1. Лагодієнко О. В. Ключові аспекти та підходи управління ESG-програмами на підприємствах агропромислового комплексу України. *БІЗНЕСІНФОРМ*. 2024. № 7. С.290-296. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-7-290-297> (дата звернення: 14.10.2024).
2. The Sustainable Development Agenda. URL: <https://sdgs.un.org/goals/goal14> (дата звернення: 14.10.2024).
3. Чому ESG-трансформація українського бізнесу важлива під час повномасштабної війни і як отримати фінансування на такі проєкти URL: <https://ukrsibbank.com/news-post/esg-transformation-ukrainian-business/> (дата звернення: 14.10.2024).
4. Berg, F., Kolbel, J.F., Rigobon R. 2022. Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3438533 (дата звернення: 14.10.2024).
5. Шадура Д. О., Меленчук В. М. Проактивне управління проєктами логістичних підприємств. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами». 2023. № 1. С. 93–99. DOI: doi.org/10.20998/2413-3000.2023.7.1 2(дата звернення: 14.10.2024).
6. Екологічний, соціальний та управлінський звіт (ESG) за 2023 рік. URL: https://carlsbergukraine.com/media/ewrni4a5/2023_report_ukr.pdf (дата звернення: 14.10.2024).
7. Maersk ECO Delivery. URL: <https://www.maersk.com/transportation-services/eco-delivery> (дата звернення: 14.10.2024).

ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

Галькевич М.В. – к.е.н., доц., *halkevych_maryna@ukr.net*
Ізмаїльський державний гуманітарний університет
Україна, м. Ізмаїл

PROSPECTS FOR ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE LOGISTICS INFRASTRUCTURE OF UKRAINE

Halkevych M.V. – Ph.D. in Economics, Associate Professor, *halkevych_maryna@ukr.net*
Izmail University of Humanities
Ukraine, Izmail

Abstract. *The paper analyses the main trends characterising the activities of transport infrastructure enterprises in Ukraine. A number of problems of domestic transport and transport-logistic enterprises are revealed. Actual problems of transport sphere development are specified. The reasons of lagging behind the transport infrastructure enterprises of Ukraine from modern western analogues are substantiated. International projects and programmes in the field of transport logistics, in which Ukraine is a participant, have been analysed. Prospects and prerequisites for increasing the efficiency of transport and logistics enterprises of Ukraine in the conditions of strengthening international cooperation and activation of European integration processes are defined.*

Keywords: *transport infrastructure, transport and logistics enterprise, logistics, transport logistics, integration.*

Актуальність дослідження зумовлена аналізом сучасного стану та перспектив розвитку транспортно-логістичних підприємств в Україні з метою пошуку інструментів підвищення ефективності їхньої діяльності, а саме підвищення рівня інтеграції в систему світогосподарських зв'язків. Євроінтеграція Україні дає більше можливостей для підприємств виходити на міжнародні ринки, знаходити ринку збуту для своєї продукції, що посилює конкуренцію серед підприємств та потребує більш швидкого реагування на зміни. В цих умовах, а саме для підвищення економічної ефективності, виникає потреба у більш досконалому використанні засад логістики. Орієнтація на міжнародний ринок підприємств та організацій України стала невід'ємною частиною їх логістичної стратегії. Країни, що залучені у світову торгівлю характеризуються зростанням обсягів логістичних послуг, про що свідчить звіт Світового банку [1, 2]. Вітчизняний ринок транспортно-логістичної діяльності є маловивченою галуззю, що робить дослідження динаміки зовнішньої торгівлі актуальною та своєчасною.

Мета дослідження. Дослідити та розкрити стан транспортно-експедиційних логістичних послуг в Україні і в світі, оцінити їх розвиток, виявити переваги і недоліки.

Основний текст. В економічно розвинених країнах логістику вже кілька десятиліть вважають важливою складовою національної економіки, що цілком оправдано. Світовий ринок логістичних послуг оцінюється в більш ніж 5 трлн. дол. щорічно зростає на 4-5% [3]. В Україні ринок логістичних послуг почав формуватися на початку 90-х років XX в. Першими на ньому стали діяти такі відомі західні логістичні компанії, як «United Parcel Service» (UPS) (США), «Thomas Nationwide Transport» (TNT) (Нідерланди), «Schenker-Billspeidition Transport Logistics» (Schenker-btl) (Німеччина/Швеція) [4].

Як відомо із загальної теорії складова логістики в структурі виробленого в країні продукту – важлива характеристика розвитку економіки країни, свого роду макроекономічний індикатор. Якщо в розвинених країнах логістична складова у ВВП рівна 10 – 15 %, то в добре організованих економіках цей відсоток ще менше. Так у країнах ЄС і США логістичні витрати становлять 12-16% ВВП, у Китаї - 26%, у Японії — 6% [3].

Що стосується України, то більшість експертів співвідносять економіку країни з рівнем країн «третього світу», у яких логістичні витрати можуть досягати 40 % від обсягу ВВП. Отож, більшість експертів вважає, що показник в Україні коливається в межах 30 – 35 % [4]. Україна, завдяки своєму вигідному географічному розташуванню, є транзитною країною й уже тому повинна мати високий логістичний потенціал. Виникає питання, наскільки реалізується цей потенціал. Причинами низького використання Україною свого логістичного потенціалу є те, що Україна виявилася не готовою до переходу від централізованого до ринкового типу економіки. Як результат цього, в Україні не приділяється достатньої уваги розвитку транспортної інфраструктури – основної бази логістичного потенціалу. Головними перешкодами для розвитку інфраструктури є: постійне підвищення цін на паливо, високі ставки на кредити, пробіли в законодавчій базі України, високі міжнародні вимоги до рухомого складу, невідповідність якості автомобільних доріг європейським стандартам, низька щільність дорожньої мережі (2 – 3 рази нижче, чим у країнах ЄС і США) [4]. Також однією з головних проблем на шляху підвищення логістичного потенціалу є порти. Це саме вузьке місце у використанні коефіцієнта транзитності країни. Сьогодні це стало ще більш помітно, коли у світі одержали широке поширення мультимодальні перевезення на основі використання контейнерів міжнародних стандартів.

Сучасний ринок логістичних послуг можна розділити на три основні сектори: I - перевезення й експедирування вантажів різними видами транспорту; II - складські послуги; III - послуги з інтеграції та управління ланцюгами поставок. Структурно на вітчизняному логістичному ринку переважають операції, пов'язані із транспортною логістикою - 89%,

послуги складського зберігання - 8%, експедирування - 2%, керування ланцюгами поставок - 1%. Тобто, сьогодні український ринок логістичних послуг формують в основному вузько функціональні посередники, що займаються окремо транспортуванням, експедируванням, вантажопереробкою, митним оформленням, складуванням, а на ринку переважають транспортно-експедиторські підприємства.

Для порівняння: структура ринку логістики Європи або світового ринку логістики свідчить про те, що в ній постійно зменшується питома вага транспортних витрат, проте росте обсяг комплексних логістичних послуг з РІ-провайдерів – спеціалізованих підприємств, що надають весь комплекс логістичних послуг в одній особі.

Аналізуючи ситуацію розвитку сфери логістичних послуг в Україні відзначимо основні перешкоди, що стримують розвиток транспортно-логістичного обслуговування товарних потоків [5]:

- дефіцит термінальних, транспортно-логістичних і складських комплексів середнього й високого класу (особливо для контейнерних вантажів, питома вага яких у світовій практиці вже досягає 55 %);

- низька швидкість проходження товарних потоків (низька рейсова швидкість і простої до 40 % часу в дорозі);

- низька пропозиція комплексної транспортно-логістичної послуги для забезпечення міжнародних, міжрегіональних і внутрішньо-регіональних перевезень та низька кваліфікація персоналу;

- недостатність інтеграції інформаційних і програмно-обчислювальних комплексів;

- відсутність координації між видами транспорту й клієнтами при організації мультимодальних і змішаних перевезень вантажів (необхідна зміна концепції – від єдиного технологічного процесу й штрафів за простої до планування перевезення на принципах єдиного вікна і єдиної тарифної ставки);

Основними драйверами на досліджуваному ринку є:

- глобалізація діяльності компаній-клієнтів та прагнення до скорочення розміру логістичного ланцюга й оптимізації витрат на її ділянках;

- концентрація компаній-клієнтів на ключових компетенціях і аутсорсинг непрофільних напрямків;

- розвиток контрактної, проектної логістики, тобто формування стратегії й тактики логістичного обслуговування корпоративних клієнтів;

- ІТ-підтримка логістичних процесів, особливо можливість одержання вчасно повної інформації про місце знаходження вантажу в ланцюзі поставок;

- у сфері виробництва - розвиток «ощадливої логістики», впровадження методик «ощадливого виробництва» з метою ресурсозбереження й виявлення джерел втрат ресурсів підприємства при здійсненні логістичних операцій;

- надання спеціалізованих наборів логістичних послуг, наприклад розвиток фреш-логістики, «холодної» логістики, автомобільної логістики, аграрної логістики, фармацевтичної логістики й т.п.;

- формування інтегрованої логістичної підтримки життєвого циклу продукції, що особливо актуально для наукомістких виробів і виробів з коротким життєвим циклом, наприклад комп'ютерної техніки, мобільних телефонів і т. п.

Загальні висновки. Таким чином, в Україні сформовані передумови до розвитку глобальних 3, 4PL провайдерів, здатних вирішувати всі питання: від виконання окремих операцій у сфері логістики до надання комплексних послуг і інтегрованого управління логістичними ланцюгами підприємства-клієнта (включаючи оптимізацію бізнес-процесів протягом усього ланцюга поставок).

З погляду світового досвіду й сучасних тенденцій розвитку глобального ринку логістичних послуг Україна перебуває на етапі формування й консолідації галузі, суттєво уступаючи західним країнам, як по якості, так і по комплексності послуг національними транспортно-логістичними компаніями. У той же час в Україні спостерігається висока зацікавленість у поширенні транспортно-логістичних послуг, як з боку споживачів, так і з боку логістичних операторів. Підвищення ролі регіонів України як споживачів і одночасно виробників широкого спектра транспортно-логістичних послуг у середньостроковій перспективі буде визначатися збільшенням споживчого попиту й обороту роздрібної торгівлі.

Л і т е р а т у р а

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 21.10.2024).

2. Про транспортно-експедиційну діяльність: Закон України від 01.07.2004 р. № 1955-IV. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1955-15> (дата звернення: 21.10.2024).

3. Артюх Т.М., Тернова А.С., Григоренко І.В. Стан світового ринку логістичних послуг та основні тренди його розвитку. *Товарознавчий вісник*. 2023. Т.1. №16. С. 116-128. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-10> (дата звернення: 21.10.2024).

4. Буркіна Н.В., Капітонець М.В. Аналіз ринку логістики України: статистичний аспект. *Економіка і організація управління*. 2020. № 3 (39). С.93-103. URL: <https://jeou.donnu.edu.ua/article/view/9706> (дата звернення: 21.10.2024).

5. Аналіз ринку логістичних послуг України: тренди, складності і можливості. URL: https://trademaster.ua/dir_logistik/312756 (дата звернення: 21.10.2024).

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ СПРЯМОВАНИЙ НА СТВОРЕННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ

Гриценко Н.В. – к.е.н. доцент, gritsenkonatal@gmail.com
Український державний університет залізничного транспорту
Україна, м. Харків

THE MODERN APPROACH TO MANAGEMENT IN TRANSPORT LOGISTICS IS DIRECTED TO THE CREATION OF INTEGRATED SYSTEMS

Hrytsenko N.V. – Ph.D. associate professor, gritsenkonatal@gmail.com
Ukrainian State University of Railway Transport
Ukraine, Kharkiv

Abstract. *The advancement of technology in the field of transport logistics management is a topic of significant relevance for contemporary businesses striving to optimise their logistics processes and enhance the efficiency of their operations. The objective of this study is to examine the current methods of transport logistics management and to propose new approaches. The findings indicate that the utilisation of innovative technologies and software systems can enhance an enterprise's competitiveness and success in comparison to its competitors. Consequently, it can be concluded that enhancing the technology of transport logistics management is a crucial step to improve the efficiency of companies and the quality of services, which can subsequently lead to an increase in overall profits and a strengthening of positions in the market.*

Keywords: *транспортна логістика, технології, інтегровані системи, оптимальні маршрути доставки вантажів*

Актуальність теми обумовлена теоретичним вивченням сучасного підходу до управління в транспортній логістиці спрямованим на створення інтегрованих систем, який буде гарантією оптимального використання ресурсів і зниження витрат на доставку вантажів. У сучасному бізнес-середовищі, яке характеризується постійними змінами та загостренням конкуренції, існує нагальна потреба у вдосконаленні технологій, що використовуються в управлінні транспортною логістикою, як у теоретичному, так і в практичному плані. Це пов'язано, з одного боку, з необхідністю ефективного управління доставкою товарів, щоб гарантувати пунктуальність і якість наданих послуг. З іншого, використання нових технологій і методологій управління, що є обов'язковим для підтримки конкурентоспроможності на ринку.

Метою дослідження є теоретичний контекст вдосконалення технології управління транспортною логістикою, що є фундаментальною умовою для успішного розвитку бізнесу та економічного зростання на національному рівні країни.

Відомо, що в транспортній логістиці використовувалися різноманітні методи та підходи, чітко орієнтовані на вирішення конкретних завдань. Наприклад, алгоритми, засновані на графах і математичних моделях, використовувалися для оптимізації маршрутів доставки вантажів. Ці алгоритми враховували лише кілька факторів, наприклад відстань між пунктами доставки та час, необхідний для доставки вантажу. Різні технології, такі як GPS-навігація та штрих-коди, були використані для вдосконалення систем моніторингу вантажів [2]. Однак ці технології мають свої обмеження. Сучасні технології та підходи в транспортній логістиці спрямовані на створення інтегрованих систем, що поєднують різноманітні методи та технології. До них відносяться більш складні системи управління складом, системи моніторингу вантажів і транспорту за допомогою датчиків, системи планування маршрутів з урахуванням багатьох факторів. Для оптимізації маршрутів доставки вантажу вже зараз використовують комбінацію статистичних даних про дорожню обстановку, про погодні умови, про затори та інші фактори, які можуть вплинути на час доставки [1].

Одним з важливих рішень у сфері транспортної логістики є використання екотехнологій. Такі технології є ефективним засобом зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Для виробництва енергії компанії використовують гібридні та електричні транспортні засоби, а також сонячні та вітрові установки.

Сучасні рішення у сфері транспортної логістики включають широкий спектр інноваційних технологій і розробок, які дозволяють компаніям оптимізувати свої бізнес-процеси. Вони допомагають компаніям підвищити ефективність, знизити витрати та підвищити якість послуг, одночасно зменшуючи шкідливий вплив на навколишнє середовище. Це ключові фактори успіху будь-якого транспортного підприємства. Все це робить транспортну логістику більш конкурентоспроможною та привабливою для клієнтів. Сучасні технології дозволяють створювати більш ефективні та універсальні системи, які можна адаптувати до різноманітних завдань та умов. Однак успішне впровадження цих систем вимагає врахування всіх факторів, що впливають на доставку вантажу, включаючи технічні, економічні, соціальні та екологічні аспекти [3].

Зрозуміло, що існуючі рішення в транспортній логістиці мають значні недоліки, які перешкоджають ефективному управлінню логістичними

процесами та доставкою вантажів. Одним із найбільш істотних недоліків існуючих рішень є їх обмежена здатність автоматизувати процеси доставки вантажів. Деякі етапи доставки, такі як завантаження та розвантаження вантажу, все ж вимагають участі людини, що неминуче призводить до затримок і помилок, та і самі системи моніторингу вантажів мають недоліки. Вони не завжди надають точну інформацію про місцезнаходження та стан вантажу. Ця ситуація виникає через необхідність враховувати безліч змінних при розробці оптимальних маршрутів доставки вантажу. Однак сучасні системи планування маршрутів включають лише підмножину цих змінних, що потенційно може призвести до вибору неоптимального маршруту та затримок у доставці вантажу. Наприклад, методи прогнозування попиту можуть виявитися неадекватними, особливо в умовах динамічного ринку та зміни споживчих переваг. Це може призвести до надлишку або недостатності запасів для задоволення попиту.

Крім того, планування виробництва може зіткнутися з труднощами через брак матеріалів або непередбачені проблеми у виробничому процесі. Це може призвести до затримок доставки товарів і невиконання попиту [3]. Тому важливо постійно розробляти нові методи та технології для покращення логістичних операцій та підвищення їх ефективності. Прикладом таких методів є використання систем управління транспортною логістикою (TMS), які забезпечують комплексний контроль усіх процесів доставки вантажів, від планування до відвантаження. Це забезпечує підвищену прозорість і контроль у логістичних ланцюгах [4]. Одним із основних методів транспортної логістики є постійне вдосконалення процесів.

У цей мінливий та швидкий час, який постійно потребує кардинальних змін транспортні підприємства постійно шукають нові шляхи покращення якості обслуговування та зниження витрат, що дозволяє їм бути більш гнучкими та адаптуватися до мінливих умов ринку та вимог клієнтів. Сучасна транспортна логістика вимагає комплексного підходу та використання різноманітних методів і підходів для вирішення основних завдань, які полягають у якості транспортних послуг. Транспортні підприємства, які успішно застосовують ці методи, отримують значні переваги в конкурентній боротьбі та можуть запропонувати своїм клієнтам більш якісні послуги [4].

Для гармонізації функціонування та з метою удосконалення управління транспортною логістикою доцільно запропонувати новий підхід, який буде орієнтований на споживчому методі управління. Споживчий метод управління є сучасним підходом до управління в транспортній логістиці, який повністю спрямований на створення інтегрованих транспортних систем. Даний метод полягає в специфічній організації управління за певними взаємопов'язаними

циклами логістики, що відповідають різним категоріям споживачів транспортного підприємства, тобто вантажовласників. За допомогою споживчого методу управління забезпечуються всі вимоги вантажовласників та цілей відповідних процесів формування якості транспортних послуг. Методика споживчого методу відрізняється від відомих, тим що має більш розгалуженіший і покращений механізм зворотного зв'язку, що дозволяє керувати показниками якості транспортних послуг відповідних процесів, вимогами споживачів, цілями та їх реалізацією. За допомогою запропонованого методу в управлінні транспортно-логістичної системи використовується механізм зовнішній та внутрішній саморегуляції транспортного процесу, що забезпечує стійкий стан рівноваги відкритої системи при її взаємодії з навколишнім середовищем. Причому, внутрішня саморегуляція забезпечує незалежну реакцію транспортних процесів формування якості на послуги, що порушують їх нормальне функціонування. Використовуючи споживчий метод управління транспортно-логістична система уникне внутрішніх протиріч, приймаючи спонтанні чи обмежені рішення у сфері якості транспортних послуг. Споживчий метод управління транспортно-логістичними системами базується на принципах управління логістикою, управління взаємовідносинами з клієнтами, гармонізації системи управління підприємством на основі якості послуг та використання принципів синергетичного системного підходу.

Загальні висновки. Розвиток сучасних транспортних підприємств залежить від впровадження нових практик управління якістю транспортних послуг. Реалізація системної парадигми запропонованого споживчого методу управління суб'єктів господарювання (транспортні підприємства і споживачі) зумовлює необхідність зміни погляду на взаємовідносини зі споживачами. Це охоплює не лише роль споживача в купівлі транспортної послуги, але й його участь у більш широкому процесі логістично-транспортної системи, включаючи розвиток послуг, оцінку якості, мотивацію постачальників послуг та інші аспекти.

Гармонізація системи споживчого методу управління логістично-транспортної системи базується на таких принципах:

- ієрархічна структура елементів, що складають транспортно-логістичну систему;
- інтеграція із загальною системою управління транспортним підприємством;
- вплив на виробничі транспортні процеси, але не на їх результати;
- зміна організаційної структури транспортно-логістичної системи з метою залучення зовнішніх і внутрішніх споживачів (вантажовласників) до процесу надання транспортних послуг.

Запропонований метод до управління в контексті транспортних послуг сприятиме формуванню та більш ефективному використанню безперервного ланцюга контролю якості транспортних послуг, який охоплює споживача, постачальника і споживача. Отже, суть нової парадигми управління якістю транспортних послуг полягає в узгодженні основних принципів управління транспортною логістикою.

Л і т е р а т у р а

1. Гриценко Н.В. Оцінка потенціалу управління сталої концепції розвитку транспортних підприємств "Вісник Дніпропетровського науково-дослідного інституту судових експертиз. Міністерства юстиції України. Економічні науки" Вид. «Гельветика», Вип. №3(07), м. Одеса, 2023. С.5-8.
2. Катерна О.К. Дослідження розвитку ринку інтелектуальних транспортних систем у світі. *Economics of development*. 2018. Volume 17. Issue 3. URL: [http://dx.doi.org/10.21511/ed.17\(3\).2018.02](http://dx.doi.org/10.21511/ed.17(3).2018.02) (дата звернення 11.11.2024)
3. Рудзінський В.В., Шумляківський В.П., Рудзінська О.В., Савченко Г.В. Особливості експлуатації транспорту загального призначення в технологіях інтелектуальних транспортних систем. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 2 (77). С. 238-246.
4. Шведа Н. М., Шпилик С. В., Піняк І. Л. Механізми управління транспортно-логістичною системою Європейського Союзу в умовах пандемії: досвід для України. *Бізнес Інформ*. 2020. №11. С. 43-48.

ІНТЕГРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСЬКУ ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ В УКРАЇНІ: ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МОБІЛЬНОСТІ

Добровольський О.В. – аспірант, dobrovolskyi_ov@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

INTEGRATION OF RAILWAY TRANSPORT INTO THE URBAN TRANSPORT SYSTEM IN UKRAINE: SOLVING MOBILITY CHALLENGES

Dobrovolskyi O.V. – PhD student, dobrovolskyi_ov@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *This study explores the integration of railway transport into Ukraine's urban systems to address mobility challenges and improve public transit efficiency. The research focuses on infrastructure modernization, multimodal hubs, and unified ticketing systems as essential components for seamless connectivity. A GIS-based accessibility analysis was conducted to evaluate urban railway coverage, alongside a comparative study of European multimodal practices. Results highlight the benefits of synchronized schedules, centralized digital platforms, and integrated fare systems in reducing congestion and improving commuter convenience. This approach aligns Ukraine's urban transport strategies with European standards and fosters greater mobility for citizens.*

Keywords: *railway integration, urban mobility, multimodal hubs, Ukraine, transport infrastructure, unified ticketing*

Актуальність теми. Залізничний транспорт відіграє значну роль у забезпеченні мобільності населення в міських агломераціях України. Проте його інтеграція з іншими видами транспорту залишається недостатньою, що створює низку проблем. Це стосується незручності пересадок, відсутності єдиної системи тарифікації та обмеженого доступу до залізничних станцій у густонаселених районах. Ці проблеми не лише знижують якість транспортного обслуговування, але й сприяють перевантаженню автомобільних доріг, збільшенню часу в дорозі та погіршенню екологічної ситуації у містах.

Досвід європейських країн, зокрема Німеччини та Франції, показує, що інтеграція залізничного транспорту через розвиток мультимодальних вузлів, цифрових платформ для координації розкладів та єдиної системи продажу квитків може значно покращити мобільність населення. Україна має значний потенціал для впровадження цих рішень, які сприятимуть оптимізації транспортних потоків, підвищенню якості послуг і зменшенню заторів на дорогах.

Метою дослідження є визначення та обґрунтування комплексних підходів до інтеграції залізничного транспорту в міські транспортні системи України з урахуванням сучасних викликів мобільності. Основні аспекти включають:

1. Аналіз стану транспортної системи України: визначення ключових проблем інтеграції залізничного транспорту з іншими видами транспорту, таких як метро, автобуси та трамваї.

2. Вивчення міжнародного досвіду: аналіз практик інтеграції залізничного транспорту у міські системи в країнах Європи, зокрема Німеччини та Франції, з акцентом на цифрові платформи, мультимодальні вузли та єдину тарифну систему.

3. Оцінка впливу інтеграції: розробка сценаріїв впровадження мультимодальних транспортних вузлів, єдиної системи придбання квитків та цифрової координації розкладів.

4. Формування рекомендацій: розробка практичних рішень для поліпшення мобільності населення, оптимізації транспортних потоків і зменшення заторів у міських агломераціях України.

Ці заходи спрямовані на підвищення якості транспортного обслуговування, скорочення часу пересадок, покращення екологічної ситуації та забезпечення інтеграції української транспортної системи у європейський транспортний простір.

У дослідженні застосовувались кілька методів:

- *GIS-аналіз: оцінка доступності залізничних станцій у міських агломераціях України для визначення рівня покриття населення залізничною інфраструктурою.*

- Порівняльний аналіз міжнародного досвіду: вивчення інтеграційних практик у країнах Європи, таких як Німеччина та Франція, з акцентом на мультимодальні вузли, координацію графіків та єдину систему продажу квитків.

- Моделювання транспортних потоків: розробка сценаріїв інтеграції залізничного транспорту в міські системи з урахуванням пасажиропотоків та інфраструктурних обмежень.

- Статистичний аналіз: використання даних щодо пасажиропотоків у міських агломераціях для оцінки впливу інтеграції на загальну мобільність.

Розроблена методологія дозволяє системно оцінити інтеграційні можливості української транспортної системи та визначити оптимальні рішення для підвищення її ефективності. Українська транспортна система має багаторівневу структуру, де залізничний транспорт виступає магістральною компонентою пасажирських перевезень. Інтеграція залізничного транспорту в міську транспортну систему потребує системного підходу, з врахуванням

правової, технологічної, інфраструктурної, екологічної та інформаційної складової. Трансформація нормативно-правових умов у сфері залізничного транспорту України здійснюються шляхом виконання семи директив та чотирьох регламентів Європейського Союзу, які передбачено Угодою про асоціацію. Основними напрямками модернізації є гарантування недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури, посилення інтеграції з європейською залізничною системою та покращення якості пасажирських перевезень відповідно до міжнародних стандартів.

Реорганізація структури Укрзалізниці передбачає оптимізацію функцій оператора інфраструктури та перевізника, що створюватиме умови для конкурентного ринку залізничних перевезень. Управління тридцятьма чотирма філіями, включаючи шість регіональних і двадцять вісім функціональних, сприятиме розвитку транспортних послуг і упорядкованому управлінню у галузі. Сучасна модернізація системи тарифного регулювання полягає в запровадженні ринкових механізмів ціноутворення, зокрема через легалізацію складової ціни на вантажне перевезення [1].

Новий варіант Закону України «Про залізничний транспорт України» сприятиме вдосконаленню ринкових механізмів у галузі залізничного транспорту, а також покращенню економічних можливостей для вдосконалення матеріально-технічних баз для залізничного транспорту. Основна мета полягає в тому, щоб побудувати структуру, яка збалансує взаємодію між учасниками перевезення. Основною метою модернізації процесу є досягнення європейських стандартів безпеки перевезень і створення системи державного керівництва у сфері безпеки залізничного транспорту. У сучасному управлінні синергічні реалізаційні заходи є ключовим фактором розвитку принципів безпеки транспортування, ефективності експлуатації та конкурентоспроможності на ринку перевезень по залізничному транспорті [2].

Архітектоніка сучасної транспортної системи України демонструє багаторівневу структуру взаємопов'язаних елементів, де залізничний транспорт виступає магістральною компонентою пасажирських перевезень. Актуалізація питання інтеграції залізничного транспорту в міську транспортну систему зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання наявної інфраструктури та оптимізації пасажиропотоків у межах агломерацій. Методологічний базис інтеграційних процесів ґрунтується на принципах системного підходу, що передбачає комплексне врахування технічних, економічних, соціальних та екологічних аспектів транспортної системи. Імплементация передових технологічних рішень у сфері організації руху та інформаційного забезпечення пасажирських перевезень дозволяє суттєво підвищити якісні характеристики транспортного обслуговування населення [3].

Модернізація рухомого складу, оптимізація маршрутної мережі, впровадження інтермодальних транспортних вузлів і створення єдиної системи електронного квитка є факторами, які сприяють ефективній інтеграції залізничного транспорту. Підвищення мобільності населення, зменшення навантаження на вулично-дорожню мережу та покращення екологічної ситуації в містах є всіма позитивними наслідками впровадження комплексу заходів.

Парадигма сталого розвитку транспортних систем є основою для концепції модернізації залізничного транспорту в контексті міської мобільності. Електропостачання приміських залізничних ліній, впровадження швидкісного руху в агломераціях, будівництво транспортно-пересадочних вузлів і розвиток супутньої інфраструктури є пріоритетними напрямками розвитку. Інтеграційні процеси потребують значної модернізації існуючих об'єктів і створення нових компонентів транспортної системи. Залізничні станції та платформи повинні бути модернізовані, щоб відповідати сучасним вимогам щодо безбар'єрності та інклюзивності, забезпечуючи комфорт для всіх категорій пасажирів.

Технологічна модернізація залізничного транспорту включає впровадження інтелектуальних транспортних систем, автоматизацію диспетчеризації та впровадження інноваційних систем управління рухом. Сучасні ІКТ покращують безпеку перевезень, гарантують точне виконання розкладів і оптимізують графіки руху поїздів.

Для мультимодальної інтеграції залізничного транспорту необхідно створити розгалужену мережу транспортно-пересадочних вузлів, які дозволять пасажирам безперешкодно пересуватися між різними видами транспорту. Архітектурно-планувальні рішення для транспортно-пересадочних комплексів мають враховувати майбутні пасажиропотоки та максимізувати зручність для користувачів. Основними принципами економічного механізму інтеграції залізничного транспорту є державно-приватне партнерство та залучення інвестиційних ресурсів. Для фінансування модернізаційних процесів необхідно диверсифікувати джерела фінансування та створити сприятливі умови для залучення приватного капіталу до розвитку транспортної інфраструктури. Логістична сторона процесу інтеграції включає оптимізацію маршрутної мережі відповідно до потреб населення в перевезеннях. Формування маршрутів міського залізничного транспорту має базуватися на результатах аналізу пасажиропотоків і прогнозу попиту на транспортні послуги в майбутньому [4].

У світлі глобальних кліматичних проблем екологічна складова модернізації залізничного транспорту набуває особливого значення. Електронізація залізничних ліній і впровадження енергоефективного рухомого складу значно знижує вплив транспорту на навколишнє середовище та покращує екологію міст. Підвищення доступності транспортних послуг для всіх

верств населення, створення комфортних умов перевезення та розвиток сервісу, спрямованого на клієнта, є одними з соціальних аспектів інтеграції залізничного транспорту. Збільшення мобільності та соціальної інклюзії є результатом впровадження гнучкої тарифної політики та системи соціальних пільг [1].

Інформаційне забезпечення пасажирських перевезень вимагає створення єдиної платформи, яка інтегрує інформацію про розклад руху всіх видів транспорту, наявність вільних місць, тарифи та можливості пересадки. Пасажири можуть оплатити проїзд за допомогою мобільних додатків та онлайн-сервісів. Стратегічна реалізація європейських нормативів у галузі залізничного транспорту вимагає значної трансформації регуляторного середовища. Фундаментальна основа для інтеграції української залізничної системи в європейський транспортний простір полягає в прозорих системах ліцензування перевізної діяльності, сертифікації безпеки рухомого складу та допуску локомотивних бригад.

Інформаційно-технологічна модернізація залізничного транспорту передбачає впровадження інтелектуальних систем управління перевезеннями, які забезпечують автоматизацію процесів планування маршрутів, моніторингу рухомого складу та прогнозування пасажиропотоків. Архітектура інформаційної системи базується на принципах інтероперабельності та масштабованості, що дозволяє інтегрувати різноманітні транспортні сервіси та адаптувати функціональність відповідно до зростаючих потреб користувачів. Розробка національних стандартів експлуатації залізничного транспорту, які відповідають європейським технічним специфікації інтероперабельності, є частиною модернізації системи технічного регулювання. Впровадження уніфікованих технічних вимог створює умови для інтеграції транспортної системи України в міжнародні транспортні коридори та гарантує сумісність українських залізниць з європейською залізничною мережею. Ціль реформування державних тарифів на залізничні перевезення полягає в тому, щоб зробити ціни прозорими та впровадити ринкові стандарти для визначення вартості транспортних послуг. Лібералізація тарифної політики стимулює модернізацію рухомого складу та розвиток конкуренції на залізничному ринку.

Висновки. Результати дослідження демонструють, що інтеграція залізничного транспорту в міські системи України може стати важливим кроком до покращення мобільності населення та оптимізації транспортних потоків. Впровадження мультимодальних вузлів забезпечить зручність пересадок між залізницею та іншими видами транспорту, а цифрова платформа для координації графіків зменшить час пересадок і підвищить ефективність громадського транспорту. Єдина система тарифікації спростить доступ до

транспорт, зменшить витрати часу на пересадки і популяризує використання громадського транспорту серед населення. Реалізація цих рішень сприятиме зменшенню навантаження на автодороги, підвищенню екологічної стійкості транспортної системи та інтеграції України у європейський транспортний простір.

Л і т е р а т у р а

1. Запорожець Г.В., Краснокутський Є.С. Теоретико-методичні аспекти управління якістю послуг підприємств залізничного транспорту. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка». 2021. № 23 (51). С. 29-34

2. Міністерство інфраструктури України. Реформи залізничного транспорту України URL: <https://mtu.gov.ua/content/reformi-zaliznichnogo-transportu.html> (дата звернення: 15.11.2024).

3. Міністерство інфраструктури. Транспортна інфраструктура: схвалено всі подані Україною проекти у рамках програми «Механізм «Сполучення Європи» URL: <https://mtu.gov.ua/news/35795.html> (дата звернення: 15.11.2024).

4. Transformative Mobility. Трансформація сталої мобільності URL: <https://transformative-mobility.org/%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D1%97-%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Зікрач В.О. – магістрант, *zikrach78@ukr.net*

Коротков В.В. – магістрант, *korotkov89@ukr.net*

Марков Р.Д. – магістрант, *markov94@ukr.net*

Ткачук Ю.В. – магістрант, *tkachuk89@ukr.net*

Примаченко Г.О. – к.т.н., доц., *gannaprymachenko@gmail.com*

Український державний університет залізничного транспорту

Україна, м. Харків

STUDY OF THE DURATION OF CARGO DELIVERY BY RAIL TRANSPORT

Zikrach V.O. – master's student, *zikrach78@ukr.net*

Korotkov V.V. – master's student, *korotkov89@ukr.net*

Markov R.D. – master's student, *markov94@ukr.net*

Tkachuk Yu.V. – master's student, *tkachuk89@ukr.net*

Prymachenko H.O. – PhD of Technical Sciences, Associate Professor,

gannaprymachenko@gmail.com

Ukrainian State University of Railway Transport

Ukraine, Kharkiv

Abstract. *A study of possible additional time costs during the transportation of goods by rail has been conducted. The importance of determining the distribution density function, which is used to determine the probabilities of various downtime scenarios, has been proven, allowing for more accurate modeling of probable distributions of time parameters and transmitting the risks of delays at border crossings. Risks and probable scenarios have been predicted using the distribution density function. Factors influencing waiting times and downtime for rail transport have been analyzed. The importance of organizing a cargo delivery system in multimodal transportation from departure to destination has been proven.*

Keywords: *freight transportation, distribution density, downtime, waiting time, logistics*

Актуальність дослідження зумовлена важливістю кількості днів, на які визначається прийняття вантажу залізничним транспортом, служить основою для можливих додаткових витрат часу. Ця тривалість формується відповідно до умов, визначених на схемі (рис. 1). Важливо враховувати, що дана тривалість може змінюватися залежно від конкретних обставин маршруту та прикордонного контролю, що впливає на загальний час обробки та доставки вантажу.

У процесі відправлення вантаж від вихідного пункту до пункту призначення знаходиться у дорозі, час у дорозі охоплює період руху з одного

пункту до іншого та можливі простой. При міжнародному перевезенні виникає потреба проходження прикордонного переходу, що у свою чергу, включає в себе не лише час на фактичний перехід, але і можливий простій, що може виникнути внаслідок різних обставин, таких як очікування дозвільних процедур або інші непередбачені події. Такий простій може і не виникнути, залежно від умов маршруту та прикордонного контролю.

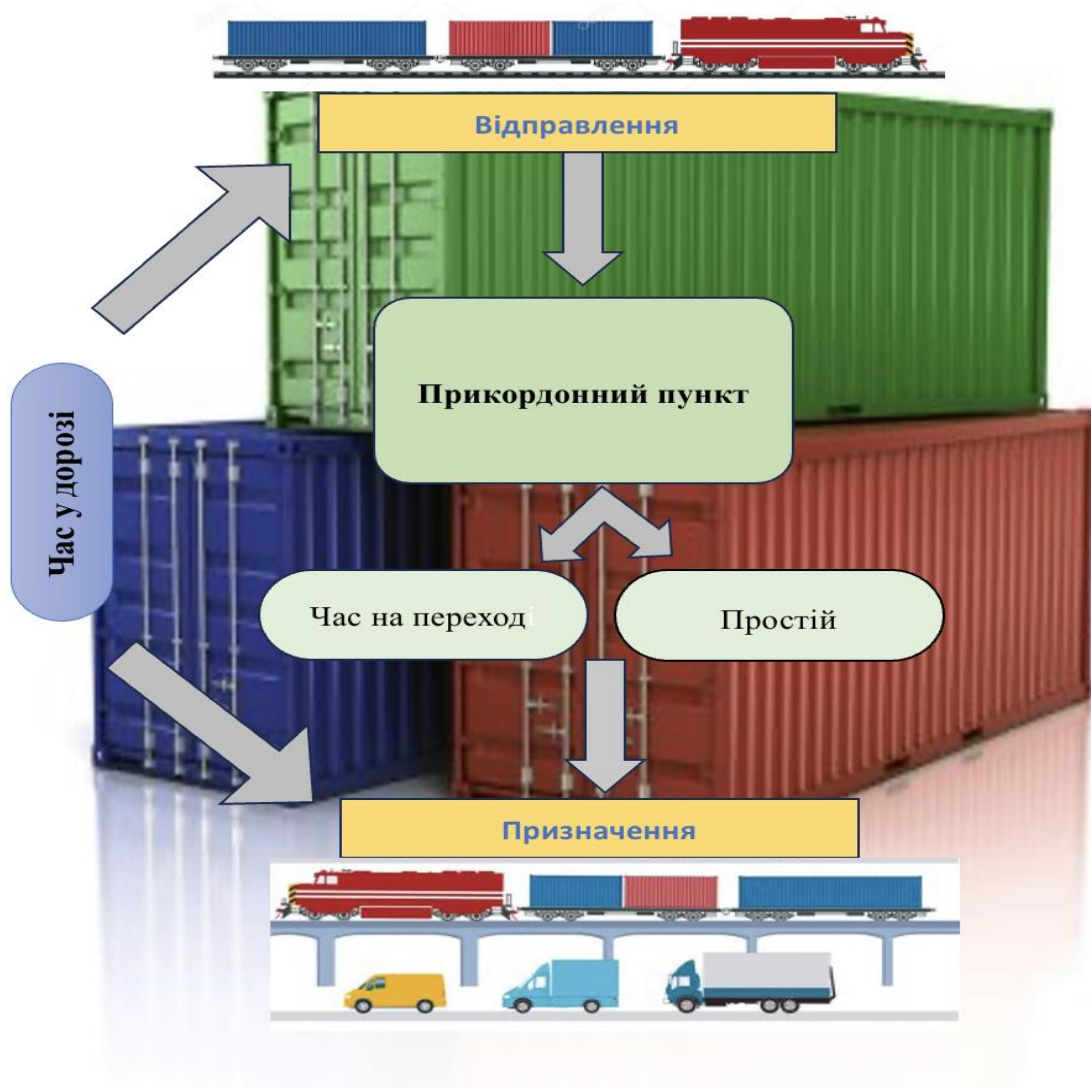


Рисунок 1 – Час знаходження вантажу у дорозі під час перевезення

Визначення функції щільності розподілу є важливим елементом аналізу статистичних даних. Знання середнього значення (μ) та стандартного відхилення (σ) дозволяє створити нормальну криву, яка моделює графіки розподілу тривалості черги на кордоні. Ця функція щільності розподілу використовується для визначення ймовірностей різних сценаріїв часу простою.

Формула нормальної кривої для функції щільності розподілу виглядає наступним чином:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

де μ - середнє значення тривалості черги;

σ - стандартне відхилення, вказуючи на розкид значень тривалості.

Метою роботи є використання функції щільності розподілу для оптимізації періоду очікування у вантажних перевезеннях, що є ключовим етапом у покращенні продуктивності логістичних процесів. Ця функція дозволяє більш точно моделювати ймовірнісні розподіли часових параметрів та передбачувати ризики затримок на прикордонних переходах.

Інтеграція функції щільності у формулу часу простою робить розрахунки більш точними, враховуючи ймовірнісні аспекти та розподіл тривалості черг на кордоні. Це сприяє зменшенню ризику непередбачуваних затримок та раціональному використанню ресурсів [1].

На підставі функції щільності розподілу можна розробляти ефективні логістичні стратегії. З урахуванням статистичних параметрів можна визначити оптимальні шляхи та заходи для уникнення або зменшення впливу можливих затримок.

Прогнозування ризиків та вірогідних сценаріїв за допомогою функції щільності розподілу надає логістичним менеджерам можливість планувати та приймати рішення, користуючись об'єктивними даними.

Використання аналізу та функції щільності розподілу допомагає не лише уникати негативних сценаріїв, але й підвищує загальну ефективність вантажних перевезень. Це досягається завдяки кращому розумінню часових параметрів та їх впливу на логістичні процеси.

Узагальнено, використання функції щільності розподілу не лише підвищує точність розрахунків часу простою, але й сприяє розробці більш стратегічних та ефективних підходів до логістичного управління вантажоперевезень [2].

Отже час тривалості простоїв залежить від різних факторів структуру яких подано на рис. 2.

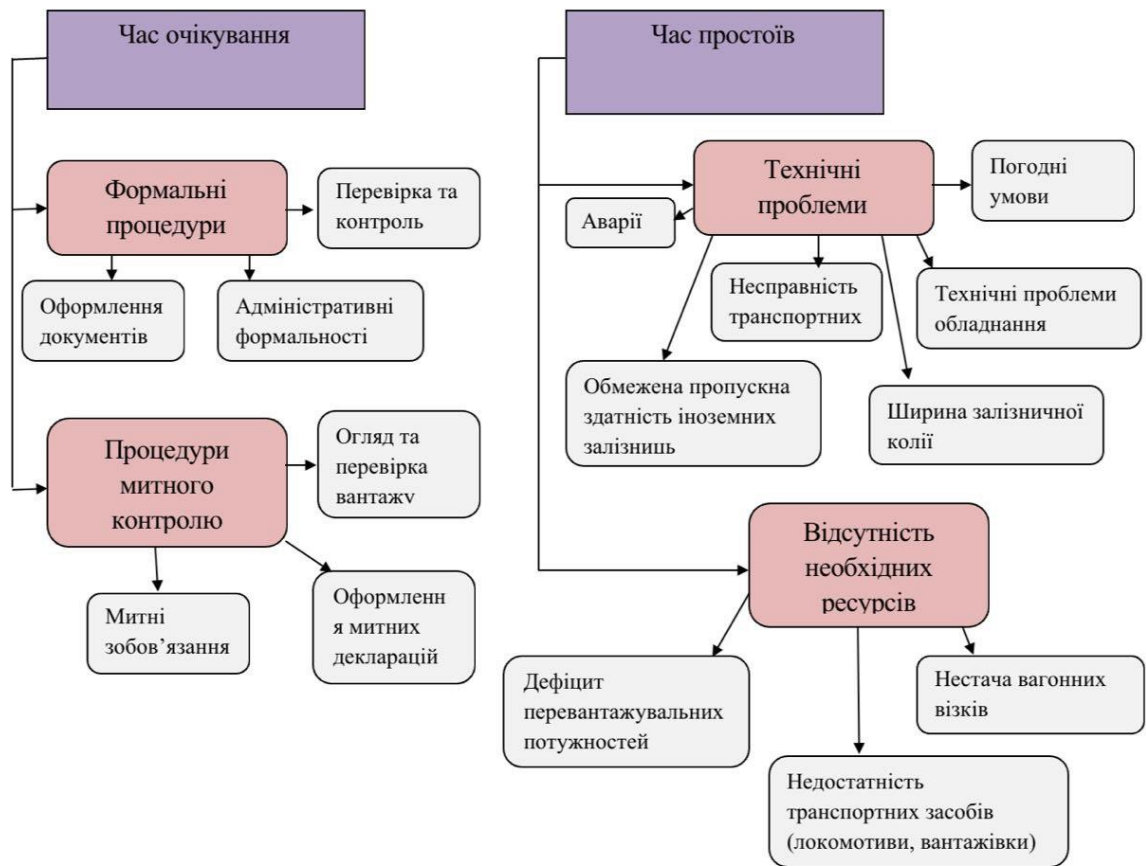


Рисунок 2 – Фактори впливу на час очікування і простоїв для залізничного транспорту

Висновок. Важливо організовувати систему доставки вантажів при мультимодальних перевезеннях від відправлення до призначення, звертаючи увагу на ефективний обмін інформацією та використання оптимальних маршрутів для мінімізації простоїв та економії транспортних витрат.

Л і т е р а т у р а

1. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. 2020. URL: <https://transportgeography.org/contents/chapter5/intermodaltransportation-containerization/multimodal-transport-system/>.
2. Bielli M., Boulmakoul A., Mouncif H. Object modeling and path computation for multimodal travel systems. *European Journal of Operational Research*. 2006. 175 (3). Pp. 1705-1730.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ

Майданюк В.В. – магістрант, maidaniuk_vv@gsuite.duit.edu.ua

Сиволап Н.В. – магістрант, syvolap_nv@gsuite.duit.edu.ua

Торопов Б.І. – к.т.н., доцент, toropov_bi@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

RESEARCH AND IMPROVEMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION BY INCREASING THE EFFICIENCY OF ROLLING STOCK UTILIZATION

Maidaniuk V.V. – master's student, maidaniuk_vv@gsuite.duit.edu.ua

Syvolap N.V. – master's student, syvolap_nv@gsuite.duit.edu.ua

Toropov B.I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
toropov_bi@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technology
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *The container transportation system in Ukraine and the world is analyzed, the expansion of Ukraine and the need for infrastructure development are supported. The importance of legislative support, the acquisition of private operators and the creation of new terminals to enhance competitiveness is emphasized.*

Аналіз сучасного стану світового ринку контейнерних перевезень та стану контейнерних перевезень в Україні, включаючи номенклатуру, обсяги та напрямки основних вантажопотоків, відображає стійку тенденцію до зростання обсягів контейнерних перевезень, хоча Україна поки відстає від рівня розвинених країн.

Контейнеризація дозволяє значно підвищити ефективність і конкурентоспроможність залізничних підприємств, що є особливо важливим в умовах сучасної економіки.

Щоб досягти середнього рівня контейнеризації країн Східної Європи, Україні необхідно збільшити обсяги перевезень втричі. За існуючих темпів зростання контейнеризація в Україні має перспективу продовжувати збільшуватись.

Розвиток контейнерних перевезень є стратегічним напрямком для транспортної системи України, оскільки сприяє зміцненню її конкурентоспроможності на світовому ринку транспортних послуг.

Сучасний стан контейнерних терміналів та технологічні проблеми їх забезпечення показують, що для забезпечення ефективності контейнерних перевезень та своєчасної обробки контейнерів необхідно створювати нові контейнерні термінали на вантажних станціях, які заплановані до закриття.

Зростання обсягів контейнерних перевезень можливе через розвиток і розширення інфраструктури контейнерного транспорту, зокрема через будівництво необхідної кількості контейнерних терміналів у найбільш перспективних регіонах.

Основою технологічного процесу контейнерних перевезень є організація та управління процесом доставки на базі залізничного транспорту, а також координація дій усіх учасників перевізного процесу для ефективного використання ресурсів управління перевезеннями. Перевагою приватних операторів контейнерних перевезень є можливість створення оптимальної «мережі перевезень» з використанням вигідних схем транспортування, які включають обґрунтовані рішення, професійний підхід і високу якість транспортно-логістичного сервісу.

Приватні компанії-оператори вводяться на ринок залізничних перевезень для сприяння економічній конкуренції, зниження монополізму, повного задоволення попиту на залізничні послуги через розширення їх асортименту і підвищення якості, збільшення парку рухомого складу і поліпшення показників його використання. Це відповідає потребам суспільного виробництва та сприяє розвитку галузі залізничних перевезень.

Підтримка контейнерних перевезень на законодавчому рівні, доповнена раціональною технічною та тарифною політикою, є ключовою умовою для їхнього ефективного розвитку.

Загалом, ринок транспортно-експедиторських послуг в Україні характеризується слабким розвитком і недостатньою структурованістю, а також відсутністю достовірної інформації про його структуру та доходи. Внутрішньополітичні зміни в Україні суттєво вплинули на розвиток бізнесу та логістичних послуг.

Для розвитку 3PL – 5PL провайдерів важливо максимально використовувати потенціал залізничної інфраструктури, аналізувати світові тенденції та застосовувати досвід інших країн.

Постановка проблеми. Проблема полягає в низькому рівні контейнеризації в Україні порівняно з розвиненими країнами, що вимагає значного збільшення обсягів перевезень та розвитку інфраструктури контейнерного транспорту. Недостатня кількість сучасних терміналів, слабка структурованість ринку та відсутність належної законодавчої підтримки

стримують розвиток контейнерних перевезень і конкурентоспроможність транспортної системи України.

Аналіз світових і українських тенденцій контейнеризації, стан інфраструктури контейнерних терміналів, роль приватних операторів і вплив законодавчої підтримки. Окреслено технологічні, економічні та ринкові аспекти розвитку контейнерних перевезень в Україні.

Висновки. Контейнеризація є стратегічним напрямком розвитку транспортної системи України, що сприятиме її інтеграції у світовий ринок перевезень. Необхідно збільшити обсяги перевезень, модернізувати інфраструктуру та залучити приватних операторів, забезпечивши законодавчу і тарифну підтримку. Це підвищить конкурентоспроможність галузі та стимулюватиме економічне зростання.

Л і т е р а т у р а

1. Губенко В.А. Контейнеризація вантажопотоків у транспортній системі України: сучасний стан і перспективи розвитку / В.А. Губенко // Економіка транспорту і логістика. 2022. № 15. С. 34-42.

2. Ковальчук О.В. Модернізація інфраструктури контейнерних перевезень в Україні / О.В. Ковальчук // Залізничний транспорт України. 2021. № 6. С. 12-18.

3. Литвиненко, І.М. Роль приватних операторів у розвитку ринку контейнерних перевезень / І. М. Литвиненко // Вісник транспортної економіки. 2020. № 9. С. 56-62.

ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Мордига В.О – бакалаврант, ee-22d-364@snu.edu.ua

Морнева М.О. – к.т.н., доц., morneva@snu.edu.ua

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля
Україна, м. Київ

PROBLEMS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICITY AND THERMAL ENERGY PRODUCTION

Mordyga V.O. – bachelor's student, ee-22d-364@snu.edu.ua

Morneva M.O. – Associate Professor, Ph.D., morneva@snu.edu.ua

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
Kyiv, Ukraine

Abstract. The article considers the problems of increasing energy efficiency in the production of electricity and thermal energy. Discussion of the main factors affecting energy efficiency, such as the use of modern technologies, optimization of production processes, the influence of government policy and economic incentives. The role of alternative energy sources and the need for modernization of the energy infrastructure are also analyzed. The results of the research should serve as a basis for developing recommendations for increasing energy efficiency in this area and forming a strategy for the sustainable development of the energy sector.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy resources, Kyoto protocol, thermal energy

Актуальність дослідження. У сучасному світі енергетичні ресурси залишаються дефіцитнішими, підвищення енергоефективності в сферах усіх економік, зокрема у виробництві електричної та теплової енергії, є надзвичайно актуальним. Енергетичний сектор економіки є ключовою в забезпеченні стабільності економіки та соціального розвитку. Зростаючі вимоги до енергетичної безпеки, необхідності зменшення викидів парникових газів та адаптації до клімату вимагають впровадження нових технологій і методів для підвищення енергоефективності. без того, оптимізація використання енергетичних ресурсів дозволяє зменшити витрати, підвищити конкурентоспроможність підприємств та сприяння.

Метою роботи є аналіз існуючих проблем та бар'єрів, які заважають підвищенню енергоефективності у виробництві електричної та теплової енергії. Дослідження потребують вивчення сучасних технологічних рішень, економічних та екологічних аспектів, а також державних політик, які сприяють чи перешкоджають впровадженню енергоефективних практик. Результати дослідження повинні слугувати основою для розробки рекомендацій щодо

підвищення енергоефективності в даній сфері та формування стратегії сталого розвитку енергетичного сектора.

Поняття енергоефективності тісно пов'язане з поняттям «енергозбереження». Енергоефективність слід розуміти як такий стан економіки, який дозволяє максимально ефективно використовувати наявні енергетичні ресурси, спираючись на існуючий технологічний уклад. Таким чином, енергоефективність є якісним показником ступеня розвитку національної економіки, а енергозбереження – це кількісна характеристика зменшення використання одного показника відносно іншого [1].

Основним із показників, який дозволяє визначити енергетичну ефективність економіки країни, виступає енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП). Він визначається як відношення кількості спожитих паливно-енергетичних ресурсів до валового внутрішнього продукту країни. Для співставлення показників різних країн враховують розбіжність офіційних курсів національних валют стосовно їх паритету реальної купівельної спроможності. Це дає можливість співставити показники країн з різними внутрішніми цінами та різними доходами.

На рівень енергоефективності впливають такі чинники: ефективність використання ресурсів для виробництва товарів та послуг, структура національної економіки, цінова політика на енергоресурси, рівень розвитку транспортної інфраструктури, географічне розташування країни, кліматичні умови, соціально-культурні, демографічні чинники тощо.

Але статистичні дослідження щодо впливу кожного з факторів на показник енергоефективності не проводились ні у вітчизняній практиці ні за кордоном. Тому досить складно визначити ступінь впливу кожного чинника на енергоефективність національної економіки. Потреба у визначенні чіткої системи факторів впливу на енергоефективність національної економіки постала лише з моменту формування стратегії підвищення енергоефективності провідними країнами і загострилася в зв'язку з необхідністю запровадження механізмів реалізації положень Кіотського протоколу [2].

Слід зазначити, що на даний момент розробкою системи чинників переважно займаються різні міжнародні агентства, кожне з яких формує систему показників та індикаторів виходячи із своїх завдань та бачення проблеми. Формування системи факторів впливу на показник енергоефективності повинно сприяти визначенню напрямів державного впливу та формування дієвої програми енергоефективного розвитку економіки.

Висновок. Вивчення проблеми енергоефективності приводить нас до розуміння необхідності енергозбереження на усіх стадіях – виробництво, транспортування та споживання енергетичних ресурсів. Кожна стадія потребує

детального вивчення на предмет факторів впливу та можливості максимально ефективного використання ресурсів.

Л і т е р а т у р а

1. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник. К: Кондор, 2005. 408 с.
2. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text (дата звернення 24.10.2024) Назва з екрана.

ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЛЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОЇ ДОСТАВКИ КАКАО БОБІВ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ

Петрик С.В. – аспірант, *serhiy.p@bigmir.net*

Шульдінер Ю.В. – к.т.н., доцент, *julia.shuldiner@gmail.com*

Український державний університет залізничного транспорту
Україна, м. Харків

OPTIMIZATION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION FOR SEAMLESS DELIVERY OF COCOA BEANS IN THE CONTEXT OF GLOBAL LOGISTICS CHALLENGES

Petryk S.V. – Ph.D. student, *Serhiy.p@bigmir.net*

Shuldiner Y.V. – Ph.D., Associate Professor, *julia.shuldiner@gmail.com*

Ukrainian State University of Railway Transport
Kharkiv, Ukraine

Abstract. *Multimodal transport plays a vital role in ensuring the reliable delivery of cocoa beans, a key raw material for the chocolate industry, to Ukraine amid global logistical challenges. The combination of maritime, rail, and road transport offers flexibility and cost efficiency but faces obstacles such as limited infrastructure, unstable logistics routes due to geopolitical tensions, and strict storage requirements. Addressing these issues requires investments in container hubs, adoption of digital supply chain technologies, and optimization of multimodal routes. Implementing these strategies can reduce risks, stabilize delivery schedules, and strengthen Ukraine's position in the global cocoa supply chain while boosting its economic potential.*

Keywords: *Multimodal transport, cocoa beans, logistics optimization, supply chain, transportation infrastructure, digital technologies, global logistics challenges*

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження зумовлена зростаючою роллю мультимодальних перевезень у забезпеченні стабільних та ефективних ланцюгів постачання в умовах глобальних логістичних викликів. У сучасному світі, де спостерігається постійне зростання попиту на вантажоперевезення та підвищення складності транспортних маршрутів, мультимодальні перевезення виступають ключовим інструментом для зменшення логістичних витрат, оптимізації часу доставки та забезпечення збереження якості товарів.

Особливої значущості тема набуває для України, яка активно інтегрується у міжнародні ринки та імпортує стратегічно важливі товари, такі як какао боби, для розвитку своєї харчової промисловості. В умовах нестабільності традиційних морських маршрутів, спричинених військовими діями та економічними санкціями, мультимодальні перевезення дозволяють знайти альтернативні шляхи доставки вантажів.

Вступ. У сучасному світі мультимодальні перевезення є ключовою ланкою у глобальному ланцюгу постачання, особливо для товарів, які мають специфічні вимоги до транспортування, таких як какао боби. Завдяки можливості комбінувати різні види транспорту (морський, залізничний, автомобільний), мультимодальні перевезення забезпечують безперебійну доставку товарів на великі відстані, мінімізуючи ризики та витрати.

Україна, як країна, що імпортує значну частку какао бобів для виробництва шоколаду, потребує ефективних логістичних рішень для забезпечення стабільного постачання. Розвиток мультимодальних перевезень може суттєво знизити витрати та ризики, пов'язані з логістикою, а також сприяти сталому розвитку економіки. У сучасних умовах глобальних логістичних викликів, зокрема нестабільності морських маршрутів і зростання витрат на паливо, мультимодальні перевезення стають все більш актуальними.

Виклики мультимодальних перевезень какао бобів. Україна стикається з рядом викликів, що впливають на ефективність мультимодальних перевезень какао бобів. Однією з основних проблем є недостатня кількість контейнерних терміналів у внутрішніх регіонах країни, що ускладнює процес перевантаження товарів і знижує ефективність логістики. Ситуацію додатково ускладнюють нестабільні логістичні маршрути, адже через військові дії та економічні санкції використання традиційних морських шляхів стає проблематичним [1].

Крім цього, специфічні вимоги до умов зберігання какао бобів під час транспортування також створюють певні труднощі. Цей товар потребує особливих умов для збереження якості, що може значно ускладнити організацію мультимодальних перевезень. Важливою проблемою залишається невизначеність у термінах доставки, адже затримки в транспортних коридорах часто призводять до нестабільності постачання. Усі ці фактори створюють додаткові виклики для логістичної системи, яка повинна забезпечити своєчасну та безпечну доставку какао бобів до України.

Перспективи та можливості оптимізації. Для покращення мультимодальних перевезень какао бобів в Україну важливо здійснювати низку заходів, спрямованих на оптимізацію логістичних процесів. Одним із ключових напрямів є покращення транспортної інфраструктури: інвестиції в розвиток контейнерних хабів та нових логістичних центрів дозволять зменшити залежність від нестабільних маршрутів та поліпшити ефективність доставки [2]. Використання цифрових технологій також відіграє важливу роль у сучасній логістиці. Впровадження систем управління ланцюгом постачання, моніторингу вантажів у реальному часі та автоматизованих платформ допоможе оптимізувати перевезення та скоротити час доставки. Окрім того, розширення міжнародної співпраці, зокрема встановлення партнерських відносин з

міжнародними транспортними компаніями, дозволить спростити процеси перевезень і знизити вартість доставки какао бобів. Не менш важливим є оптимізація маршрутів та логістики. Розробка нових, більш ефективних шляхів перевезення, які передбачають комбіноване використання морського, залізничного та автомобільного транспорту, дозволить значно зменшити витрати на перевезення та скоротити час доставки товару до кінцевого пункту призначення [3].

Висновок. Ефективна доставка какао бобів до України вимагає сучасних підходів до логістики, що враховують глобальні виклики. Використання мультимодальних перевезень дозволить знизити ризики, пов'язані з нестабільністю морських маршрутів, та оптимізувати логістичні витрати. Інвестиції в інфраструктуру та впровадження новітніх технологій можуть суттєво підвищити ефективність постачання какао бобів, що матиме позитивний вплив на вітчизняну шоколадну промисловість.

Л і т е р а т у р а

1. Соколова О.Є. Теоретичні основи організації та розвитку мультимодальних перевезень в Україні / О. Є. Соколова, Т. А. Акімова, Л. О. Сулима // Економічний простір. 2014. № 83. С. 91-103. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecpros_2014_83_11.
2. Куліш, В. (2021). Розвиток інфраструктури морських портів України: виклики та перспективи. Одеса: Транспортна аналітика.
3. Міжнародні перевезення : теорія та практика : навч. посібник : у 2 кн. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків :ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018 Кн. 1 / А.С. Галкін, В.П. Левада, Ю.А. Давідіч, Н.В. Давідіч, К. Є. Вакуленко. 2018. 182 с.

**СЕКЦІЯ 4: ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА,
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

**SECTION 4: RENEWABLE ENERGY, ENERGY SAVING AND ENERGY
EFFICIENCY**

**ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ
МЕТРОПОЛІТЕНУ**

Бележинський О.Ю. – аспірант, belezhynskii_oyu@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

**PROMISING ROUTES FOR CHANGES IN ENERGY SUPPLY
TO THE METRO**

Belezhynskii O.YU. – Postgraduate student, belezhynskii_oyu@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *In connection with the gradual increase in tariffs for consumed electricity, further the development of rail electric transport, in particular the rolling stock of the metro, is impossible without application of modern energy-saving technologies and energy-efficient systems. To solve the specified of the new problem in the work, it is necessary to perform an analysis of measures and determine promising directions on energy saving and energy efficiency improvement in the rolling stock of the metro. It was established that the introduction of energy recovery and storage systems allows It is possible to save a significant amount of electricity, which is spent on traction, but it needs and significant capital investments. It is noted that in today's difficult conditions of the development of the economy of Ukraine the promising direction of energy saving is the use of energy-efficient control systems.*

Keywords: *Energy saving, subway, recuperation, rational driving mode, rolling stock*

Актуальність дослідження зумовлена постійно зростаючими тарифами на електроенергію та відсутністю модернізації та оновлення рухомого складу на фоні великих та зростаючих обсягах міських перевезень.

Метою роботи є аналіз питання витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену та скорочення витрат електроенергії на тягу поїздів та впровадження сучасного енергоефективного рухомого складу.

Однією з важливих ланок в сучасній транспортній інфраструктурі міст-мегаполісів є метрополітен, який має найбільші перевізні можливості у порівнянні з іншими видами міського транспорту, екологічно чистий, швидкісний та комфортний перевізник, що дозволяє його класифікувати як

перспективний вид пасажирського транспорту на досить тривалий період [1]. Одним із важливих питань в теперішній час залишається зменшення витрат електроенергії на тягу поїздів метрополітену, оскільки споживання на тягу складає близько 70 % від загальної кількості споживаної енергії. Через постійне підвищення тарифів на електроенергію актуальність вирішення питання зі зменшення витрат електроенергії на тягу метрополітену очевидна.

Слід зазначити, що електрифікований міський транспорт користується пільговим тарифом, встановленим аналогічно як і для населення.

На цей час в метрополітенах України перевезення пасажирів забезпечується, насамперед, поїздами з колекторними двигунами постійного струму послідовного збудження та релейно-контакторними системами управління серій: 81-502, Ем, Еж, 81-717/714, 81-540/541 та інші модифікації. З метою скорочення споживання електроенергії на тягу в останні роки створюється та модернізується вітчизняний рухомий склад метрополітену [2].

В 2014-2018 році ПАТ «КВБЗ» спільно з іншими вітчизняними та іноземними підприємствами модернізовано та введено в експлуатацію 27 п'ятивагонних поїздів КП «Київський метрополітен» за фондом Зелених інвестицій. У ході модернізації у вагонів були збережені кузови, за винятком маски кабіни головних вагонів, тоді як практично все ходове та електричне обладнання, а також оснащення інтер'єру замінили на нове. Електрообладнання вагонів у процесі модернізації зазнало практично повної заміни на нове. Поряд із електрообладнанням виробництва Крюківського заводу, значну частину нового електрообладнання поставили японські та німецькі компанії, такі як ITOCHU, Mitsubishi Electric, Knorr Bremse, Fuji Electric, Schaltbau та інші. Головними відмінностями новоствореного та модернізованого рухомого складу є використання асинхронного електропривода змінного струму, мікропроцесорної системи управління, а також впровадження іншого енергозберігаючого обладнання та технологій, насамперед систем рекуперації. За результатами тягово-енергетичних випробувань дослідного п'ятивагонного поїзда витрати на споживання ним електричної енергії становлять 25,7 Вт/год/т*км. За результатами досліджень [3] відомо, що модернізація існуючого рухомого складу у відношенні до п'ятивагонного зчепу дозволяє скоротити споживання електроенергії з мережі на понад 40 %. Таким чином, в КП «Київський метрополітен» виконуються заходи з енергозбереження та підвищення енергоефективності рухомого складу метрополітену шляхом заміни застарілого тягового обладнання на нове з реалізацією рекуперативного гальмування.

Проте в умовах реальної експлуатації на величину використання електроенергії рекуперації впливає багато факторів [4]. Серед основних можна

виділити так: інтенсивність руху в зоні рекуперації, режим руху інших споживачів електроенергії, відстань між станціями та профіль колії. За результатами аналізу досліджень [5,6] встановлено, що за існуючої інфраструктури системи тягового енергозабезпечення метрополітену використання електроенергії рекуперації має імовірнісний характер та не перевищує 30%. Таким чином, в цей час можливості рекуперації використовуються не в повному обсязі і існує проблема реалізації надлишкової електроенергії за відсутності споживачів в зоні рекуперації [4].

Значна кількість досліджень присвячена напрямкам визначення раціонального режиму ведення рухомого складу метрополітену на перегоні за критерієм мінімуму споживання електроенергії з мережі.

Слід зазначити, що наразі значна кількість досліджень направлена на розробку мікропроцесорної системи управління для сучасного рухомого складу з асинхронним тяговим приводом та можливістю рекуперативного гальмування [2]. На сьогодні мікропроцесорними системами управління, що дозволяють визначати раціональний режим ведення за критерієм мінімального споживання електроенергії, оснащений рухомий склад метрополітенів США, Англії, Японії, Франції, Італії. Крім того, багато метрополітенів світу мають мережі автоматизованого метрополітену, де рухомий склад обладнаний системами автоведення та курсує без машиністів. Автоматизовані метрополітени експлуатуються в Дубаї, Нюрнберзі, Ліоні, Парижі, Сінгапурі, Барселоні та інших містах. На цей час експлуатований парк метрополітенів України обладнаний системами автоматичної локомотивної сигналізації з автоматичним регулюванням швидкості (АЛС–АРШ), що призначена для безпеки руху поїздів. Система АЛС–АРШ забезпечує безперервну передачу сигнальних показань у кабіну управління рухомого складу про дозволenu швидкість руху, контроль зайнятості колії та швидкості руху поїзда, автоматичне зниження швидкості чи зупинку поїзда при її перевищенні, контроль пильності машиніста. Проте зазначена система не дозволяє визначати раціональний режим ведення рухомого складу метрополітену на перегоні залежно від його завантаження за критерієм мінімуму споживання електроенергії [2].

Для оцінки потенціалу збереження кількості електроенергії за рахунок застосування енергоефективних систем управління, які дозволяють визначати раціональний режим ведення рухомого складу метрополітену на перегоні, в КП «Київський метрополітен» виконані експериментальні дослідження. Дослідження здійснювались з використанням випробувального комплексу, до складу якого входить п'ятивагонний поїзд та вимірювальна система, встановлена на його борту. Експерименти виконані під час типових штатних режимів ведення рухомого складу на перегонах «Хрещатик–Театральна–

Хрещатик» та «Шулявська–Берестейська–Шулявська» при його номінальному завантаженні з дотриманням «непікового» та «пікового» графіків руху. Результати досліджень у вигляді графіків залежності кількості спожитої електроенергії від часу руху на перегоні наведено на рис. 1. Траєкторії проходження перегону «Хрещатик–Театральна» за умов дотримання «непікового» графіка руху наведено на рис. 2. За виконаними дослідженнями в КП «Київський метрополітен» (Рисунок 1, 2) встановлено, що потенціал збереження електроенергії за рахунок використання енергоефективних мікропроцесорних систем управління на перегонах: «Хрещатик–Театральна» складає до 7 %; «Театральна–Хрещатик» – до 5 %; «Шулявська–Берестейська» – до 1,5 %; «Берестейська–Шулявська» – до 10 % [2].

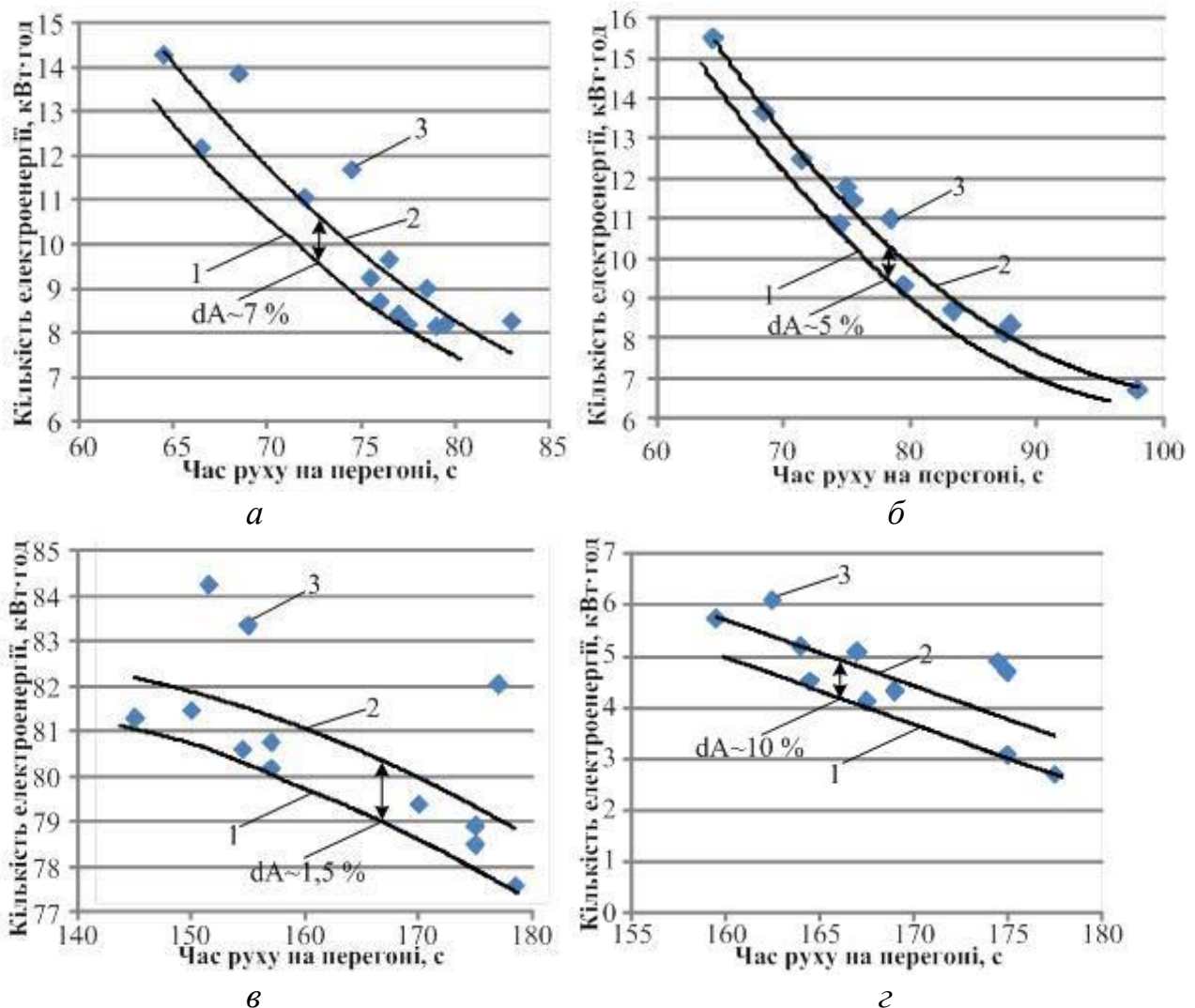


Рисунок 1 – Потенціал економії електроенергії за рахунок застосування раціональних режимів ведення поїзда на перегонах «Хрещатик–Театральна» (а), «Театральна–Хрещатик» (б), «Шулявська–Берестейська» (в) та Берестейська–Шулявська» (г):

- 1 – мінімально можливе споживання електроенергії;
- 2 – споживання електроенергії під час типових режимів ведення;
- 3 – споживання електроенергії під час різних режимів ведення;
- dA – економія за рахунок застосування енергоефективних режимів ведення.

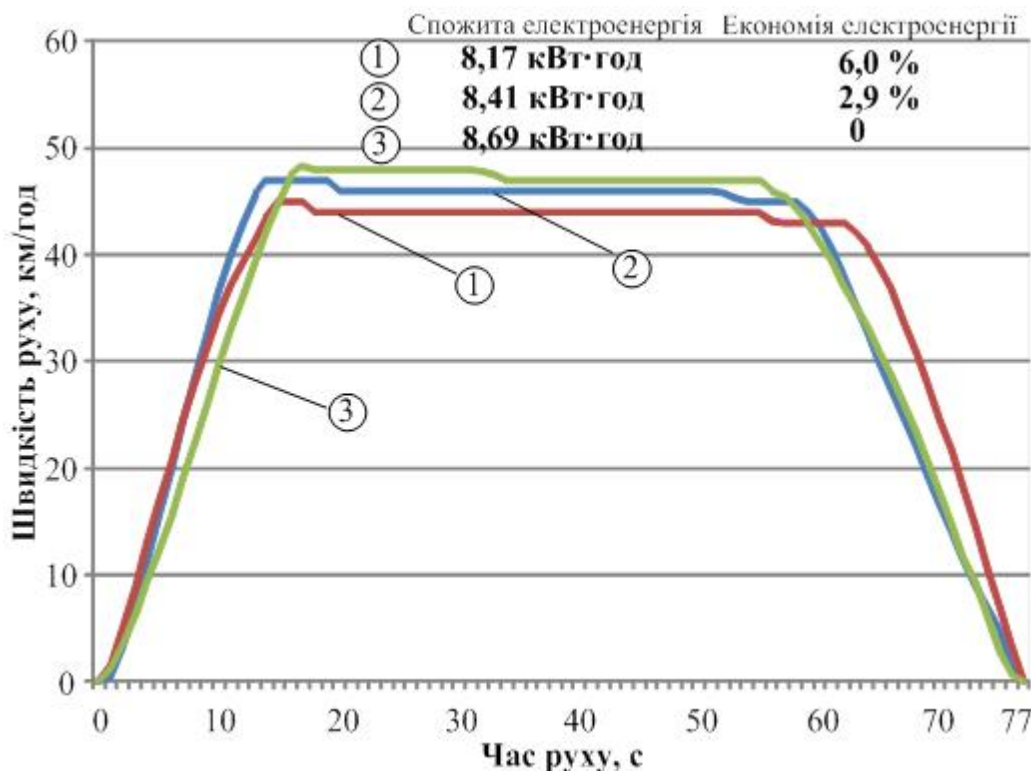


Рисунок 2 – Графіки проходження перегону «Хрещатик–Театральна» під час типових режимів ведення рухомого складу за «непіковим» графіком руху

Висновок. В результаті впровадження сучасних тягових перетворювачів з асинхронними двигунами та рекуперативного гальмування можна досягнути економії близько 20% електроенергії в одночас при оновленні 100 % рухомого складу цей показник збільшується більш ніж до 40%. Зазначено, що при впровадженні енергоефективних систем управління та застосування раціональних режимів ведення поїзда з урахуванням профілю колій, швидкості та часу ходу між станціями можна досягнути додаткової економії електроенергії.

Л і т е р а т у р а

1. Донченко А.В., Сулим А.О. До питання витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену / *Транспортні системи і технології* // *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. Київ, 2013. № 22. С. 5-8.
2. Донченко А.В., Сулим А.О., Сіора О.С., Мельник О.О., Федоров В.В. Аналіз питань енергозбереження та енергоефективності під час експлуатації рухомого складу метрополітену // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. Дніпро, 2016. № 3. С 63-70.
3. Донченко А. В., Мужичук С. О., Сулим А. О. Дослідження енергоефективності модернізованого поїзда метрополітену виробництва ПАТ «КВБЗ» // *Рейковий рухомий склад*. Кременчук, 2015. №12. С. 48–56.

4. Костін М.О., Нікітенко, А.В. Збільшення об'єму рекуперованої електроенергії на електропоїздах постійного струму. // *Залізничний транспорт України*. Київ, 2015. №4. С. 32-40
5. Саблін, О. І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. № 6/8 (72). С. 9-13.
6. Sulym A., Fomin O., Khozia P., Palant O., Stamatina V. Development of a comprehensive approach to determining the rational parameters of an onboard capacitive energy accumulator for a subway train // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3(102).

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Богуславський Д.С. – аспірант, bohuslavskyi_d_s@aspirants.pstu.edu

Каращук В.О. – к.т.н., доц., karashchuk_v_o@pstu.edu

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Україна, м. Дніпро

THE USE OF ALTERNATIVE FUELS FOR VEHICLES

Bohuslavskyi D.S. – graduate student, bohuslavskyi_d_s@aspirants.pstu.edu

Karashchuk V.O. – Ph.D., Associate Professor, karashchuk_v_o@pstu.edu

Pryazovsky State Technical University,

Ukraine, Dnipro

Abstract. *The study analyzes the use of hydrogen as an alternative fuel for transportation. Hydrogen fuel is an environmentally friendly alternative to traditional fuels, reducing greenhouse gas emissions and air pollution. It is suitable for heavy transport due to its long range, fast refueling, and high energy efficiency. Challenges include high costs, limited infrastructure, and safety concerns. Ukraine has significant potential for developing hydrogen energy and integrating with EU markets.*

Keywords: *hydrogen fuel, alternative fuel, transport, environmental sustainability, greenhouse gases, renewable energy sources.*

Актуальність дослідження зумовлена проблемою підвищення екологічності та енергоефективності транспортних засобів автомобільного та залізничного транспорту. Головними напрямками покращення якості надання транспортних послуг, що передбачені у національній транспортній стратегії України до 2030 року [1] є наближення рівня їх надання та розвитку інфраструктури до європейських стандартів, підвищення рівня безпеки та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище. В свою чергу «Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року» передбачає модернізацію транспортної галузі за рахунок використання транспортних засобів, що можуть споживати різні види моторного палива (наприклад, бензин і газ або з добавками біопалива та біокомпонентів), електричних, водневих автомобілів, автомобілів на паливних елементах, а також розвиток громадського електротранспорту [2].

Однією з глобальних екологічних проблем сучасності є проблема використання двигуна внутрішнього згорання для тягових транспортних засобів. Оскільки в двигуні відбувається процес згорання паливно-повітряної суміші, у процесі роботи утворюються вуглекислий газ, який сприяє глобальному потеплінню та змінам у кліматі. Також виділяється оксид азоту, вуглеводні з'єднання, альдегіди, дрібні частки сажі та інші. Все це погіршує

якість повітря та має серйозний вплив на самопочуття та здоров'я населення. При використанні 1 л палива забруднюється приблизно 16 куб. метрів повітря. При цьому у двигуна мала ефективність приблизно 25% перетворюється в рух, все інше перетворюється на тепло. Отже перехід на електромобілі, водневі автомобілі та інші види транспорту, що використовують відновлювані джерела енергії, допоможе вирішити ці проблеми.

Мета роботи є проведення оглядового аналізу альтернативного виду палива а саме водню та порівняння з іншими видами палива.

Водневе паливо стає дедалі актуальнішим як альтернатива традиційним видам палива, особливо для важкого транспорту, промисловості та виробництва енергії. У країнах Європи активно інвестують у водневу інфраструктуру. Зокрема, Німеччина, Франція, Нідерланди та Іспанія розвивають водневі заправки і мережі водневих хабів. Німеччина є лідером за кількістю водневих заправок у Європі, маючи близько 100 станцій. В Україні поки що воднева інфраструктура розвинена слабо. Однак в Україні є значний потенціал для виробництва зеленого водню завдяки можливостям для розвитку відновлюваної енергетики (сонячна, вітрова) [3].

Водневий транспорт активно розробляється провідними компаніями, вже існують і випробовують легкові, вантажні автомобілі, також випробовують технологію у пасажирських перевезеннях автобусах, та на залізничному транспорті.

Водень пропонує можливість суттєво зменшити викиди парникових газів у транспортному секторі. Якщо подивитись з боку конкуренції з електротранспортом, акумуляторні електромобілі наразі домінують у легковому транспорті, це якщо не враховувати що при виготовленні і утилізації акумуляторних батарей у навколишнє середовище потрапляє велика кількість хімічних з'єднань, шкоду від яких ще треба дослідити. У порівнянні з дизельними вантажівками водневий транспорт може суттєво зменшити викиди вуглекислого газу та забруднюючих речовин у повітря, що важливо для досягнення цілей декарбонізації, особливо в ЄС. Водневі паливні елементи генерують енергію через хімічну реакцію між воднем та киснем, побічним продуктом якої є чиста вода, що робить їх екологічно безпечними і більш ефективним засобом руху.

Якщо дивитись зі сторони експлуатаційних якостей водень на відміну від електровантажівок на акумуляторах може забезпечити значно більший запас ходу (до 800 км і більше) і швидшу заправку (приблизно 10–15 хвилин), що є критичним для комерційного транспорту, де час простою має важливе значення. Це робить водневі вантажівки особливо перспективними для далеких перевезень і для важкого транспорту, де використання акумуляторних батарей є

менш ефективним. Також водневі паливні елементи забезпечують високий рівень енергоємності, тому вони підходять для важких вантажівок, автобусів і навіть залізничного транспорту. З часом застосування у вантажівках водневих паливних елементів сприятиме розвитку інфраструктури заправних станцій для водню, у свою чергу це сприятиме розширенню можливостей використання водню і для легкових автомобілів.

На перевагу є деякі виклики для використання водню. Висока вартість: виробництво та зберігання водню, особливо зеленого (виготовленого з відновлюваних джерел), поки що є дорогим. Інфраструктура: на сьогодні кількість водневих заправок є обмеженою, особливо у країнах Східної Європи, включно з Україною. Безпека: водень є вибухонебезпечним газом, що вимагає спеціальних заходів безпеки для його зберігання і транспортування.

Україна має хороші перспективи для розвитку водневої енергетики завдяки наявності природних ресурсів для відновлюваної енергетики та можливості експорту зеленого водню до ЄС. Стимулювання використання водневого транспорту, особливо у важкому секторі, може допомогти Україні інтегруватися в європейський зелений енергетичний ринок і зменшити залежність від імпорту викопного палива.

Висновок. В результаті проведеного аналізу зрозуміло, що наразі спостерігається активний розвиток транспортних засобів з використанням водню, але зі значними викликами. Попри те, що водень має великий потенціал для декарбонізації промисловості та важкого транспорту, його широке впровадження потребує подальшого зниження вартості, розширення інфраструктури та вдосконалення технологій зберігання і транспортування. Очікується, що з розвитком зелених технологій і державною підтримкою водневий транспорт може стати основним екологічно чистим рішенням у транспортній галузі.

Л і т е р а т у р а

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалена постановою КМУ України від 30 травня 2018 р. № 430-р. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення 03.11.2024) Назва з екрана.

2. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Режим доступу: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення 03.11.2024) Назва з екрана.

3. Зелена книга "Реалізація Європейського зеленого курсу в транспорті та формування сталої мобільності"[Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-252598252/252598252#1> (дата звернення 03.11.2024) Назва з екрана.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Большак А.В. – аспірант, *bolshak.ab@ukr.net*

Бондар О.І. – к.т.н., доц., *bondardiit@gmail.com*

Український державний університет науки і технологій

Україна, м. Дніпро

USING OF MODERN SEMICONDUCTORS FOR REDUCING TECHNOLOGICAL LOSSES OF ELECTRICAL ENERGY IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

Bolshak A.V. – postgraduate student, *bolshak.ab@ukr.net*

Bondar O.I. – Doctor of Philosophy, Associate Professor, *bondardiit@gmail.com*

Ukrainian State University of Science and Technologies

Ukraine, Dnipro

Abstract. *The article examines the use of modern semiconductor components to increase the energy efficiency of power circuits of electric locomotives. Technological losses of electrical energy in such systems are a significant problem that affects the economy and reliability of electric transport. The use of new generation semiconductors, such as power transistors based on silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN), allows to reduce losses during switching and conduction, ensuring higher efficiency and stability of system operation. The article considers the main advantages of these materials, in particular, their high heat resistance, reduction in the weight and size of devices, as well as an increase in the frequency of operation of converters. Special attention is paid to the integration of new semiconductor solutions into modern inverters and control systems of electric locomotives, which helps reduce operating costs and reduce the impact on the environment.*

Keywords: *semiconductors, power circuits, silicon carbide (SiC), gallium nitride (GaN), eco-friendly technologies, power losses, energy efficiency, switching efficiency, eco-friendly technologies*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зменшення технологічних втрат електроенергії для підвищення ефективності сучасного електротранспорту, зокрема електровозів, які є ключовим елементом залізничної інфраструктури. Традиційні силові компоненти мають суттєві обмеження, пов'язані з високими втратами під час комутації та провідності, що знижує їхню економічність і надійність.

Метою роботи є обґрунтування доцільності впровадження ефективних рішень із використання сучасних напівпровідників для зниження енергетичних втрат у силових колах електровозів, що сприятиме підвищенню їхньої енергоефективності, надійності та екологічності.

Електровози відіграють центральну роль у сучасних залізничних перевезеннях, забезпечуючи високий рівень екологічності та

енергоефективності. Проте, досягнення нових стандартів продуктивності вимагає зниження втрат електроенергії в силових колах. Одним із найбільш перспективних підходів для досягнення цієї мети є використання сучасних напівпровідникових технологій, які дозволяють значно підвищити ефективність роботи тягових систем.

Традиційні силові кола електровозів, що базуються на кремнієвих напівпровідниках, часто характеризуються високими втратами енергії та низькою термічною стійкістю. Ці недоліки змушують інженерів використовувати громіздкі системи охолодження, що збільшує вагу та розміри локомотивів. Як наслідок, динамічні властивості електровозів погіршуються, що знижує їхню ефективність під час роботи в умовах інтенсивного навантаження.

Револьюційним рішенням у цій галузі стало впровадження напівпровідників на основі карбіду кремнію (SiC) та нітриду галію (GaN). Ці матеріали мають унікальні властивості, серед яких висока термостійкість, що дозволяє функціонувати при температурах до 300°C. Завдяки цьому значно зменшується потреба в системах активного охолодження, а силові елементи можуть бути компактнішими і легшими. Такі зміни позитивно впливають на конструкцію електровозів, роблячи їх конструктивно простішими та більш енергоефективними [1, 2].

Одночасно використання SiC і GaN дозволяє електровозам працювати на вищих частотах комутації. Це знижує енергетичні втрати під час перетворення енергії в силових колах, покращуючи загальну ефективність тягових систем. Зменшення втрат особливо важливе при експлуатації електровозів, які часто працюють у складних умовах різкозмінного навантаження. При цьому забезпечується стабільність їхньої роботи та скорочуються витрати енергоресурсів, необхідних для експлуатації [3].

Крім технічних переваг, впровадження новітніх напівпровідників позитивно позначається на економічності електровозів. Зниження втрат електроенергії дає змогу оптимізувати споживання, що зменшує загальні експлуатаційні витрати. Полегшені компоненти також сприяють зниженню маси локомотивів, що дозволяє підвищити їхню швидкість і зменшити зношування залізничної інфраструктури.

Окрім цього, модернізація тягових систем вимагає адаптації систем керування електровозами. Напівпровідники нового покоління потребують удосконалених алгоритмів управління, які здатні забезпечити максимальну ефективність і стабільність їхньої роботи. Такі інновації дозволяють не лише підвищити продуктивність, а й продовжити термін служби обладнання, знижуючи витрати на його обслуговування [2].

Екологічний аспект також відіграє важливу роль у впровадженні новітніх технологій. Електровози, оснащені компонентами на основі SiC і GaN, споживають менше електроенергії, що дозволяє скоротити викиди парникових газів. Це відповідає глобальним цілям щодо декарбонізації транспорту, сприяючи сталому розвитку залізничної галузі.

Висновок. Таким чином, інтеграція сучасних напівпровідникових матеріалів у силові кола електровозів є важливим етапом розвитку залізничного транспорту. Використання SiC і GaN не лише покращує технічні характеристики локомотивів, а й сприяє зменшенню енергоспоживання, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню екологічності. Це дозволяє забезпечити стійкий розвиток транспортної інфраструктури, відповідаючи вимогам сучасного ринку перевезень.

Л і т е р а т у р а

1. Петров В.В., Лук'янчук О.М. *Напівпровідникові матеріали та їх застосування в енергетичній електроніці*. Київ: Наукова думка, 2017. 284 с.
2. Іванов А.В., Ковальчук М.С. *Технології для зменшення втрат енергії в електричних системах*. Харків: ХНАДУ, 2019. 229 с.
3. Пашин С.В., Левченко Ю.П. *Інноваційні рішення для енергетичних систем залізничного транспорту*. Київ: Техніка, 2020. 198 с.

ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛІНІЙ ДПР

Бондар О.І. – к.т.н., доц., bondardiit@gmail.com
Український державний університет науки і технологій
Україна, м. Дніпро

WAYS OF IMPROVING ELECTRICITY QUALITY INDICATORS DURING THE MODERNIZATION OF TWR LINES

Bondar O.I. – Doctor of Philosophy, Associate Professor bondardiit@gmail.com
Ukrainian State University of Science and Technologies
Ukraine, Dnipro

Abstract. *This work deals with the problem of finding ways of improving the efficiency of electricity transmission in the electrical networks of non-traction consumers of railways of Ukraine, which are electrified according to the alternating current system. The possibilities of providing bilateral power supply of non-traction loads, which receive power from "two wires - rail"(TWR) lines during the modernization of the equipment of these lines, are considered.*

Keywords: *quality of electricity, TWR lines, voltage losses, voltage unbalance indicator, bilateral power supply, phase-shifting device*

Актуальність дослідження питання пошуку шляхів покращення якості електричної енергії у мережах живлення нетягових споживачів залізничного транспорту обумовлена цілою низкою факторів. Передусім відзначимо, що внаслідок відомих конструктивних особливостей систем живлення, у найбільш несприятливих умовах з точки зору якості підведеної електричної енергії потенційно знаходяться нетягові споживачі ділянок, котрі електрифіковано по системі тяги змінного струму і які зокрема отримують живлення через лінії системи «два проводи – рейка» (ДПР). Загалом система тяги змінного струму використовується приблизно на половині довжини електрифікованих ділянок залізниць України. При цьому протяжність ліній ДПР на залізницях України складає близько 4400 км [1]. Особливістю цих ліній, по перше, є наявність гальванічного зв'язку як через шини підстанції, так і через рейкову мережу із системою тягового електропостачання. Означений зв'язок суттєво ускладнює питання електромагнітної сумісності та є причиною виникнення додаткових втрат електричної енергії та призводить до зниження надійності електропостачання. До того ж у більшості випадків лінії ДПР отримують живлення по консольній схемі через наявність на двох сусідніх тягових підстанціях головних знижувальних трансформаторів з різними групами з'єднання обмоток.

Наведені внаслідок електромагнітної індукції у двох провідниках лінії ДПР, які розташовано на опорах контактної мережі з польової сторони, додаткові спади напруги, можуть сягати 4 кВ, особливо наприкінці довжини зближення, у свою чергу спричиняють додаткові втрати електроенергії та збільшують стале відхилення напруги на споживачах. Одночасно, потенціал рейки відносно землі практично не змінюється, якщо знехтувати невеликим спадом напруги викликаний протіканням тягового струму. Відповідно система векторів лінійних напруг на споживачі стає несиметричною. З позицій теоретичної електротехніки така система може розглядатися як результат накладання симетричних складових прямої та зворотної послідовності. Отже конструктивні особливості електричних мереж, які отримують живлення від ліній ДПР зумовлюють погіршений режим напруги та наявність значної зворотної послідовності трифазних напруг на споживачах.

Метою роботи є проведення оглядового аналізу можливих технічних заходів, які спрямовано на покращення основних показників якості електричної енергії в електричних мережах нетягових споживачів, які отримують живлення по лініях ДПР під час реконструкції зазначених мереж.

Усю сукупність відомих на сьогодні технічних заходів спрямованих на підвищення ефективності передачі енергії у зазначених системах живлення нетягових споживачів умовно можна розділити на дві групи. До першої групи віднесемо заходи, котрі спрямовано на комплексне розв'язання проблеми покращення якості електроенергії на усіх приєднаннях розподільчої установки РУ-27,5 кВ. Зокрема йдеться про регулювання напруги за рахунок встановлення встановлення бустерних трансформаторів та пристроїв повздожньої компенсації реактивної потужності [2]. Сюди ж можна віднести ідею застосування пристроїв симетрування тягового навантаження [3]. Загалом треба відзначити опосередкований вплив означених засобів на процеси у лініях ДПР. З технічної точки зору головна складність у реалізації подібних заходів полягає у забезпеченні необхідного рівня надійності електропостачання в умовах підключення до системи додаткових елементів із рядом характерних проблем, зокрема з ускладненим характером перехідних режимів у ємнісних елементах, можливістю виникнення небезпечних резонансних явищ на вищих гармоніках, тощо. Значна встановлена потужність додаткового обладнання обумовлює його високу вартість, тому питання економічної доцільності подібних капіталовкладень також суттєво обмежують можливості їх реалізації.

Заходи другої групи спрямовано на усунення недоліків притаманних безпосередньо лініям ДПР. Наприклад, одним із можливих шляхів організації двостороннього живлення навантаження цих ліній є переключення зазначеної лінії на обмотку середньої напруги (35 кВ) головного знижувального

трансформатора [4]. Такий варіант переважно може бути застосований у разі повної реконструкції мережі живлення нетягових споживачів, оскільки одночасно потребує заміни обладнання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП) через які отримують живлення зазначені споживачі. Задля того щоб уникнути цієї заміни існує варіант живлення від обмотки 35 кВ через додатковий трансформатор по трипровідній лінії [1].

Принципово знизити несиметрію системи напруг у місцях приєднання споживачів можна за рахунок відмови від використання рейкової мережі у якості третього проводу з одночасним розташуванням додаткового провідника на опорах контактної мережі [4]. Модернізовану таким чином лінію іноді називають лінією із заземленою фазою, оскільки електричний зв'язок згаданого проводу з рейковою мережею зберігається через обмотку трансформатора. Можливим є також і інше технічне рішення, котре полягає у від'єднанні фази трансформатора КТП від рейки та підключення її до заземлювача із регульованою індуктивністю. У разі вирівнювання спаду напруги в такому заземлювачі зі спадами напруги у проводах лінії істотно знижується величина коефіцієнту несиметрії.

В роботі [1] детально розглянуто і обґрунтовано на базі сучасних досліджень можливість організації двостороннього живлення лінії ДПР з використанням фазоповоротного пристрою. Відзначається, що при помірних у порівнянні з іншими способами капіталовкладеннях, запропонований спосіб дозволяє зменшити як несиметрію, так і несинусоїдність живлячої напруги у лінії ДПР. Одночасно зменшуються і сукупні втрати електроенергії при її передачі до вказаних споживачів. Важливим є те, що подібний спосіб дозволяє забезпечувати двостороннє живлення ліній ДПР незалежно від схеми підключення тягових підстанцій до системи зовнішнього електропостачання.

Питання практичної реалізації тих чи інших заходів з підвищення ефективності передачі електроенергії по лініях ДПР доцільно розглядати для кожної окремої лінії як на підставі актуального економічного обґрунтування, так і з урахуванням наявних технічних обмежень. У цьому контексті зокрема варто відзначити, що, наприклад, питання впливу пропонованих технічних заходів на величину струмів короткого замикання переважно лишаються поза увагою дослідників. Отже потрібно враховувати максимально широке коло обмежуючих факторів.

Висновки. На підставі викладеного вище, можливо сформулювати наступні загальні висновки.

1. Проблема покращення якості електричної енергії у мережах живлення нетягових споживачів залізничного транспорту нерозривно пов'язана з питаннями зменшення технологічних втрат при передачі електричної енергії,

додержання належного рівня надійності електропостачання, забезпечення електромагнітної сумісності, тощо.

2. Ключовими показниками якості електроенергії, які потребують покращення у мережах, що живляться від ліній ДПР варто вважати стале відхилення напруги у точці приєднання споживача та коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності

3. Сукупність існуючих на сьогодні факторів, визначальними серед яких є значна зношеність обладнання, руйнування мереж у наслідок бойових дій, підвищення вартості електричної енергії створює передумови для поступової модернізації електричних мереж на основі принципів підвищення їх енергетичної ефективності.

4. Зростання кількості нових чутливих до якості електроенергії пристроїв, а також нелінійного, різкозмінного та несиметричного навантаження у поєднанні з процесами інтеграції відновлюваних джерел енергії в систему електропостачання електрифікованих залізниць у подальшому спричинятиме зростання економічної ефективності технічних заходів по модернізації електричних мереж електропостачання нетягових споживачів електрифікованих залізниць України.

Л і т е р а т у р а

1. Земський Д.Р. Підвищення ефективності передачі електроенергії для нетягових споживачів електрифікованих залізниць змінного струму. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» (27 – Транспорт). Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020, 194 с.

2. Доманський І.В. Теоретичні основи енергоефективності та ресурсозбереження систем тягового і зовнішнього електропостачання залізниць : дис. ... д-ра. тех. наук : 05.22.09 / ХНУМГ. Харків, 2018. 432 с.

3. Сиченко В.Г., Саєнко Ю.Л., Босий Д.О. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць: монографія. Дніпропетровськ: Стандарт-Сервіс, 2015. 340 с.

4. Земський Д.Р. Пошук шляхів модернізації та удосконалення електро-магнітної сумісності ліній ДПР електрифікованих залізниць. Безпека і електромагнітна сумісність на залізничному транспорті : матеріали VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 1-3 лютого 2017 р. Чернівці, 2017. С. 34-35.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ АКУМУЛЯТОРІВ

Буряк С.Ю. – к.т.н., доц., докторант, ser.buryak@gmail.com
Гололобова О.О. – к.т.н., асистентка, Gololobova_Oksana@i.ua
Науково-навчальний інститут
«Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»
Українського державного університету науки і технологій
Україна, м. Дніпро

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON BATTERY LIFE

Buriak S.YU. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
ser.buryak@gmail.com
Gololobova O.O. – Candidate of Engineering Sciences, Assistant,
Gololobova_Oksana@i.ua
Scientific and educational institute
"Dnipro Institute of Infrastructure and Transport"
Ukrainian State University of Science and Technologies
Ukraine, Dnipro

Abstract. *The wide application of batteries makes their lifecycle prognosis a challenging and hot topic in the battery management research field. Feature extraction is a key step for the lifetime prognostics of batteries, which takes a significant effect on the accuracy of performance prognosis. The state of charge of a battery depends on many parameters. Their discharge and charge curves represent a nonlinear process that depends both on the battery's own chemical processes and on its operating parameters. The battery's own effects that introduce nonlinearity are self-discharge, degradation, hysteresis, etc. The operating parameters on which the discharge curve depends are the discharge current, battery temperature, number of discharge cycles, charging conditions, etc. The main reasons that lead to irreversible degradation of the battery and deterioration of its performance characteristics are considered. Recommendations are given for maintaining high performance indicators over the longest period of use.*

Keywords: *battery, service life, degradation, charge, capacity reduction, operating recommendations*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю надання загальних рекомендацій щодо оптимізації застосування хімічних накопичувачів електричної енергії. Слід зазначити, що з плином часу актуальність даної теми тільки збільшується через широту розповсюдження, різноманітність використання та постійно зростаючий попит на дані елементи живлення.

Метою роботи є проведення аналізу терміну служби акумуляторних батарей, який визначається сумарною тривалістю їх експлуатації та зберігання. Термін служби акумуляторів – це їхнє напрацювання, загальна кількість циклів заряду/розряду, при вичерпанні якого акумулятори знижують розрядну ємність до певного, регламентованого технічною документацією рівня.

Час життя акумуляторних батарей, крім їх електрохімічного складу, залежить від таких факторів, як глибина розряду, режим заряду та температури акумулятора, пов'язаної з умовами його експлуатації та зберігання. Термін служби акумуляторів також залежить і від обладнання, в якому вони використовуються.

Як правило, при низьких температурах зниження розрядної ємності акумуляторів значно більше, ніж при підвищених. Під час зберігання акумуляторів різного електрохімічного складу спостерігається процес мимовільного розряду, що відображається на частковій втраті ємності. Різні типи батареї мають різну часову інтенсивність саморозряду при зберіганні – він визначається хімічним складом джерел струму, термодинамічних властивостей електродів, забрудненням електроліту та матеріалу електродів. Відсоток саморозряду акумулятора при зберіганні обчислюється порівнянням ємності, що віддається джерелом струму при його первинній експлуатації, і ємності, що віддається акумулятором після його тимчасового простоювання на зберіганні.

Процес саморозряду хімічних джерел струму найінтенсивніший на початковому етапі їх зберігання. Літій-іонні акумулятори відрізняються низьким саморозрядом, тривалим терміном життя, великою питомою ємністю. Літій – ідеальний матеріал для створення акумуляторів, один з найлегших металів, що відрізняються високим електрохімічним потенціалом та забезпечує найвищу щільність енергії. При створенні батареї літій не використовується в чистому вигляді, замість нього в них є іони, що переміщуються між катодом і анодом акумулятора при зарядах і розрядах. Термін зношування акумуляторних чарунок визначається при зниженні їх ємності до 80% від початкової. Однак, на практиці акумулятори з ємністю менше 80% продовжують і надалі працювати, хоча час тривалості цієї роботи суттєво знижується. Послідовний заряд/розряд акумуляторів призводить до зниження активного матеріалу електрода та зміни його хімічного складу, що зрештою веде до підвищення внутрішнього опору та зниження ємності.

Зниження ємності може спостерігатись і при зберіганні акумулятора (коли він не експлуатується). Так, найбільша швидкість зниження ємності літій-полімерного акумулятора відбувається при високих температурах. Тому зберігати літій-полімерні акумулятори краще зарядженими на 40-50% при температурі 5°C. Явище саморозряду властиве всім типам акумуляторів. Для оцінювання рівня саморозряду чи величини втраченої ними з часом ємності використовуються відсотки від значення, одержуваного відразу після завершення зарядного процесу. В одних акумуляторів допустимий саморозряд протягом доби після закінчення заряду (наприклад, нікель-кадмієвих), у випадку з іншими саморозряд оцінюється за місяць (літій-іонний акумуляторні

батареї). Вплив температури зберігання на рівень саморозряду акумуляторів можна показати на простому прикладі. Саморозряд герметичних свинцево-кислотних акумуляторів SLA AGM при 20 °C становить 40% на рік і 15% при 5 °C.

Підвищення температури спричиняє збільшення інтенсивності саморозряду SLA AGM акумуляторів. Так, при зберіганні в особливо спекотних умовах можлива втрата 40-50% ємності за 4-5 місяців. Саморозряд акумуляторних батарей пояснюється процесом виділення кисню на позитивному електроді. У разі підвищення температури виділення кисню посилюється. Однак, незважаючи на те, що ступінь саморозряду значною мірою залежить від температурного фактора, приписувати це явище виключно йому теж не варто. Безпосередньо впливає на саморозрядний процес і якість матеріалів, що використовуються в акумуляторі, особливості його конструктивного виконання. Втрати ємності в акумуляторах умовно можна розділити на дві групи: оборотні та необоротні.

Необоротні втрати енергії є неминучими, але їх можна знизити завдяки дотриманню правил заряду, розряду, зберігання акумуляторів, а також рівномірності розподілу навантаження під час експлуатації. Застосування циклів роботи з неповним розрядом дозволяє значно збільшити термін служби акумуляторів. Потрібно відзначити ще один момент, що стосується терміну служби акумуляторів. Якщо технічна документація певного типу акумуляторів, наприклад SLA AGM, фіксує 500 циклів їх заряду/розряду, то це число говорить не про те, що дане хімічне джерело струму можна заряджати лише 500 разів, а вказує на те, що весь процес експлуатації (підживлення) акумулятор складається з п'ятисот циклів повного заряду/розряду.

Тобто, якщо двічі зарядити свинцево-кислотний акумулятор SLA AGM на 50%, то в сумі обидва рази утворюють лише один повний цикл заряду/розряду акумуляторної батареї. При 30% глибині циклів розряду їх кількість відповідно втричі. Усі виробники акумуляторних батарей розраховують термін їхнього життя кількістю циклів повного розряду – до 0%.

Запобігання передчасному старінню акумуляторів (продовженню терміну їхнього життя) сприяє низка факторів.

1) Неповний розряд. Використання неповної ємності акумулятора перед заряджанням істотно збільшує кількість циклів життя. При неглибоких розрядах акумулятор прослужить значно довше. Багаторазовий розряд акумуляторів до напруги, що знаходиться нижче рівня, що регламентується технічною документацією, призводить до швидкого виходу батарей з ладу. Винятком є акумулятори, що мають так званий "ефект пам'яті" (наприклад, нікелеві акумулятори).

2) Уникнення заряду до 100% ємності (у випадку з літій-іонними: літій-полімерний, літій-залізо-фосфатними акумуляторами). Зниження кінцевої зарядної напруги дозволяє збільшити час експлуатації хімічного джерела струму.

3) Вибір правильного зарядного пристрою. Акумулятори не люблять перевантажень, тому заряджати їх потрібно обмеженою потужністю і обов'язково підходящим зарядним пристроєм. Підвищення напруги заряду лише на кілька відсотків може призвести до істотного скорочення циклу служби акумулятора, тим часом зниження струму спричинить недозаряд батареї. Слід відмітити також і те, що процес повільної підзарядки та планомірної розрядки корисніший для батарей, ніж робота в інтенсивному режимі.

4) Обмеження температури акумулятора. Необхідно дотримуватися температурного режиму експлуатації, що рекомендується, уникати зарядки при мінусовій температурі. Будь-який тип акумуляторних батарей заряджати потрібно лише за позитивних температур. Потрібно уникати перегрівання або переохолодження акумуляторів, оскільки надто низька або висока температура негативно відображаються на їхньому житті.

5) Обмеження зарядних та розрядних струмів. Високі зарядні та розрядні струми знижують кількість циклів роботи акумулятора. Великий струм сприяє виникненню надмірної механічної напруги в акумуляторній батареї.

6) Запобігання дуже глибоким розрядам. Дуже глибокий розряд досить швидко може зіпсувати акумулятор. Якщо повного розряду акумулятора запобігти не вдалося, потрібно якнайшвидше зарядити його хоча б на 40% ємності.

7) Зберігання акумуляторів у частково зарядженому стані. Акумуляторним батареям властивий саморозряд. Рівень розряду безпосередньо пов'язаний з температурою зберігання тому, чим більше вона буде наближена до оптимальної, тим краще буде для самої батареї. Важлива роль збільшення часу життя акумуляторів відводиться зарядним пристроям.

Найкращими є зарядні пристрої з підстроюванням (фіксуванням) зарядної напруги, але і за допомогою пристроїв, що працюють за принципом відсікання мінімального зарядного струму, можна продовжити цикл життя акумуляторів, вибравши рівень струму відсічення. Для збільшення ємності акумуляторні елементи часто з'єднуються в єдину батарею паралельно. Жодних особливих вимог до елементів такого з'єднання не висувається, крім наявності ідентичного хімічного складу, виробника та розмірів. Послідовне з'єднання вимагає більш ретельного підбору, так як розбалансування по ємності спричинить перенапругу на одній з акумуляторних чарунок. Використання акумуляторів на

основі літію неможливе без спеціальної інтелектуальної схеми захисту – BMS, що обмежує напругу заряду та розряду на кожній чарунці, що входить до складу акумулятора. Спеціальні системи управління та балансування (BMS) використовуються, наприклад, у роботі літій-залізо-фосфатних (LiFePO_4) акумуляторних батарей. Системи балансування чарунок захищають акумулятор від перевищення напруги при зарядному процесі, оптимально розподіляють струм між чарунками, контролюють температуру акумулятора, відключаючи його при перегріві, обмежують глибину розряду та струм споживання. BMS забезпечує безпеку роботи літійового акумулятора, зупиняє роботу при перевищенні граничних величин струму і температури.

Висновок. Заявлений виробником термін використання акумулятори можуть прослужити за умови дотримання правильних режимів експлуатації. Дотримуючись всіх вимог батарей, можна максимально продовжити життя акумуляторів, або навпаки суттєво його скоротити.

Л і т е р а т у р а

1. Daniel J. Noelle, Meng Wang, Anh V. Le, Yang Shi, Yu Qiao. Internal resistance and polarization dynamics of lithium-ion batteries upon internal shorting, *Applied Energy*, Volume 212, 2018, Pages 796-808, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.086>.
2. Mohammad A. Hoque, Petteri Nurmi, Arjun Kumar, Samu Varjonen, Junehwa Song, Michael G. Pecht, Sasu Tarkoma. Data driven analysis of lithium-ion battery internal resistance towards reliable state of health prediction, *Journal of Power Sources*. Volume 513, 2021, 230519, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230519>.
3. Lin Chen, Mo Zhang, Yunhui Ding, Shuxiao Wu, Yijing Li, Gang Liang, Hao Li, Haihong Pan. Estimation the internal resistance of lithium-ion-battery using a multi-factor dynamic internal resistance model with an error compensation strategy. *Energy Reports*, Volume 7, 2021, Pages 3050-3059, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.027>.
4. Rasheed Ibraheem, Calum Strange, Gonçalo dos Reis. Capacity and Internal Resistance of lithium-ion batteries: Full degradation curve prediction from Voltage response at constant Current at discharge. *Journal of Power Sources*, Volume 556, 2023, 232477, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232477>.
5. Chuanping Lin, Jun Xu, Mingjie Shi, Xuesong Mei. Constant current charging time based fast state-of-health estimation for lithium-ion batteries. *Energy*, Volume 247, 2022, 123556, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123556>.
6. Zengkai Wang, Shengkui Zeng, Jianbin Guo, Taichun Qin. State of health estimation of lithium-ion batteries based on the constant voltage charging curve. *Energy*, Volume 167, 2019, Pages 661-669, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.008>.
7. Chuan Li, Huahua Zhang, Ping Ding, Shuai Yang, Yun Bai. Deep feature extraction in lifetime prognostics of lithium-ion batteries: Advances, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 184, 2023, 113576, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113576>.

ГІБРИДНА СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ, ГАЗОВОГО ГЕНЕРАТОРА ТА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Гаман Ю.С. – аспірант, yurii.hamann@gmail.com

Шавьолкін О.О. – д.т.н., проф., shavolkin@gmail.com

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, м. Київ

HYBRID POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES, GAS GENERATOR AND ELECTRIC VEHICLES FOR LIVESTOCK FARM

HamanYu. – Postgraduate student, yurii.hamann@gmail.com

Shavolkin O. – Doctor of Technical Sciences, Professor, shavolkin@gmail.com

Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The proposed hybrid power supply system for livestock farm enhances autonomous operation and utilizes biogas produced by the farm's biogas station, thus addressing power supply issues when PV and wind generation are insufficient. A developed control algorithm effectively utilizes excess renewable energy for electric vehicle charging and limits the maximum generator power in autonomous mode. To reduce the discharge of the main storage battery, EV batteries are discharged during peak hours. The system was investigated through computer modeling using Simulink software in both autonomous and grid-connected modes. The modeling results showed that the system is able to operate in autonomous mode for a day without renewable energy generation.*

Keywords: *hybrid system, electrical gas generator, vehicle-to-grid charging station, autonomous power supply*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення автономного енергоживлення для об'єктів критичної інфраструктури при частих відключення центральної електромережі.

Метою роботи є створення гібридної системи енергопостачання для тваринницької ферми, яка зможе забезпечити автономний режим роботи не менше доби, з використанням фотоелектричної системи, вітрогенератора, акумуляторної батареї та електричного газового генератора, з можливістю роботи з зарядною станцією для електромобілів.

Автономне енергопостачання зазвичай потребує значних інвестицій. Однак у багатьох випадках підтримання автономної роботи підприємств є важливим для уникнення економічних втрат. Тому інвестиції у гібридні системи, що забезпечують автономну роботу, в даному випадку, є економічно доцільним. Сільськогосподарські об'єкти, такі як ферми, також можуть потребувати автономної роботи, адже відключення електроенергії може

призвести до порушення роботи систем вентиляції, водопостачання, годівлі та іншого обладнання, яке необхідне для забезпечення життєдіяльності тварин.

Гібридні системи, що орієнтовані на використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), стають дедалі популярнішими, оскільки вони не лише вирішують питання енергопостачання, але й допомагають зменшити викиди вуглекислого газу та забруднення навколишнього середовища. Тварини на фермах виробляють гній, який має негативний екологічний вплив при неправильному зберіганні та використанню [1]. Переробка гною на біогазових станціях дозволяє зменшити негативні екологічні наслідки та забезпечити додаткове джерело енергії у вигляді біогазу.

Для забезпечення автономного енергопостачання щонайменше на один день пропонується система, що складається з сонячної фотоелектричної системи, вітрогенератора, накопичувальної батареї та електрогазового генератора. Крім того, система може працювати зі станцією зарядки електромобілів (V2G), яка здатна підключатися до двох електромобілів і працювати з одним електромобілем одночасно. У зимовий період генерація ВДЕ може бути недостатньою для забезпечення автономної роботи, тому ЕГГ використовується як додаткове джерело енергії у разі відсутності електрики в мережі. У години пікового споживання енергія акумулятора електромобіля може допомогти зменшити розряд основної накопичувальної батареї. У разі високої генерації ВДЕ, замість експорту енергії в мережу, її використовують для власного споживання. Надлишкова енергія застосовується для зарядки електромобілів через зарядну станцію із змінною вихідною потужністю. Потужність зарядки керується додатковим контролером потужності, який враховує профіль зарядки основної накопичувальної батареї, щоб забезпечити, що її потужність зарядки не обмежується.

Дослідження системи проводилося за допомогою програмного забезпечення Simulink. Розроблена модель складається з фотоелектричної системи 30кВт, вітрогенератора потужністю 5кВт [2], газового генератора потужністю 7.5 кВт, основної акумуляторної батареї 80 кВт·год, двох акумуляторних батарей електротрактора та електровантажівки ємністю 30 кВт·год та 50 кВт·год відповідно, системи керування. Моделювання проводилося для добового інтервалу роботи системи в зимовий період.

Висновок. Результати моделювання підтвердили, що система здатна забезпечити автономний режим роботи для тваринницької ферми навіть за відсутності генерації відновлюваних джерел енергії щонайменше на 24 години, при цьому залишаючи достатній заряд основної батареї та електротранспорту наприкінці доби.

Литература

1. Ramasamy Rajesh Kumar, Bong Ju Park, Jae Young Cho Application and Environmental Risks of Livestock Manure, The Korean Society for Applied Biological Chemistry and Springer 2013.
2. https://www.alibaba.com/product-detail/1kw-3kw-5kw-10kw-20kw-High_11000009878776.html.

ГАЗОВИЙ ПАЛЬНИК ТИПУ "ДАВА" З РЕЖИМОМ ЗМІННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Дуд В. – д. т. н., науковий співробітник, vasile.daud@ie.utm.md

Інститут Енергетики, Технічний Університет Молдови

Кишинів, Republica Moldova

Вакарчук С. – інженер

"Repconsult" SRL

Кишинів, Republica Moldova.

NATURAL GAS COMBUSTION TYPE "DAVA" WITH VARIABLE LOAD FUNCTIONS

Daud V. – Dr. Șt. Tehnice, cercet. șt., vasile.daud@ie.utm.md

Institutul de Energetică, UTM,

Chișinău, Republica Moldova

Vacarciuc S. – engineer

"Repconsult" SRL.

Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *The tendency to reduce the natural gas consumption can be achieved and by increasing their combustion efficiency. This paper presents the family of burners of "DAVA" designed and made in Chisinau, which are based on their operation principle of dynamic power variation for automat regulation to the consumer.*

In Moldova is launched the production of natural gas burners type "DAVA" with adaptable variable.

Keywords: *variable load, natural gas burner, homogeneous gas-air mixture, stability, combustion process, power regulation, efficiency, reliability*

Актуальність роботи. Виробництво промислових газових пальників у Республіці Молдова було недооціненим «сегментом» порівняно з іншими сусідніми країнами.

Лише у складній енергетичній ситуації останніх років було зрозуміло, що можливо і потрібно робити в Республіці Молдова для виробництва певних установок із залученням спеціалістів, які працюють як в енергетиці, так і в інших суміжних галузях.

На основі проведених досліджень у цій галузі, з використанням високоякісних матеріалів та компонентів, розроблено надійне, енергоефективне та екологічне промислове обладнання – газовий пальник типу «DAVA» [1,2].

Гідним прикладом є сімейство газових пальників типу «DAVA», призначених для роботи на змінних навантаженнях (необхідний параметр, але водночас і новинка), яке впроваджено підприємством «Romany Gaz Group» SRL [3] з муніципалітету Кишиніва.

Загальні дані розробки.

Розроблено та створено власну концепцію конструкцію та виготовлено пальник – установку, яка має в своєму конструктивному складі ті ж класичні конструктивні елементи, але з новим технологічним принципом - режимом роботи при змінних навантаженнях (унікальне) [1-3].

Концепція базується на таких основних критеріях: (а) повне згоряння; (b) безпечна/надійна робота; (с) ефективне обслуговування/технічне обслуговування; (d) прийнятні екологічні параметри; (д) широкий діапазон регулювання потужності пальника, що впливає з потреб теплоспоживання/технологічного споживання, залежно від кліматичних факторів (зовнішня температура зовнішнього повітря та внутрішня температура об'єкта, параметри/навантаження) е) від потреби гарячої води - від кількісного та погодинного споживання гарячої води; , а також інший актуальний і важливий чинник - (і) забезпечення низького вмісту елементів забруднення навколишнього середовища за рахунок якісного спалювання (у змінному режимі) горючих природних газів.

Конструктивна виробнича класифікація включає технологічні характеристики потужності пальника теплової енергії – малої, середньої та великої для об'єктів теплоенергетики. Може використовуватися у тому числі для опалення та ТЕС з парою; повітряної теплогенератори; хлібопекарських печах; технологічних сушарках (сільськогосподарська продукція - тютюн, фрукти; будівельні матеріали - дерево, цемент, пісок та ін.); спеціальні (технологічні) застосування (плавка скла, алюмінію, інших категорій металів), а також для різних технологічних установок, де в якості основного джерела енергії використовуються горючі природні гази (але, за необхідності, з певними конструктивними технічними втручаннями можуть також допускається використання інших видів палива).

Пальник типу «DAVA» є установкою з високими експлуатаційними параметрами до яких відносяться:

- висока теплотехнічна ефективність;
- великий запас для зміни і підтримки потужності пальника;
- стабільність і якість згоряння палива;
- ефективний монтаж і експлуатація;
- екологічний захист;
- технічна надійність і термін/цикл роботи/експлуатації вище нормативного терміну (класичних пальників) [5,8,9] .

У пальниках цього типу зі змінним навантаженням є вбудований мікроконтролер, який може контролювати декілька технологічних процесів:

- процес горіння,

- процес регулювання температури або тиску в котлі на основі законів регулювання PID (пропорційний – інтегральний – диференціальний),
- процес моніторингу корисних технологічних параметрів,
- параметри безпеки котла тощо,
- забезпечення високої ефективності споживання природного газу, як основного джерела енергії.

Цей підхід сприяє ефективному споживанню природних ресурсів, забезпеченню зниження рівня забруднення навколишнього середовища та надає установці конкурентоспроможність.

При цьому даний пальник працює на природному зі змінним навантаженням, що має значні переваги на фоні пальників на природному газі, які зараз широко використовуються на теплоелектростанціях, у тому числі ЦЕТ (газові пальники – GBL, GBL-R, GBL). -K, Lamborghini, Rielo, Gibunigas, Weishaupt), [4-7] та ін. Ці установки мають постійний режим роботи – в один або два ступеню (в одній з двох точок – низьке навантаження і високе навантаження), робота стрибками, перехід від одного ступеня теплової потужності до іншого більш високого і / або навпаки, на манер «все – мало – нічого», що дуже незручно при експлуатації.

Такий порядок використання викликає дисбаланс якості згоряння, як наслідок дисбалансу суміші; виникають явища розриву/проникнення полум'я, що створює ризик дефлаграції; тривалість технологічних зупинок з наступними процесами продувки і як наслідок – збільшення технологічних витрат (втрат) газу, підвищення ступеня ризику пошкодження. При цьому переважає відсутність процесів автоматизованого регулювання, ускладнене обслуговування, вплив людського фактору на якість технологічного регулювання суміші (повітря/газ), додаткові асигнування в експлуатації/обслуговуванні, технічна неможливість варіювати навантаженням до потреб реального споживання тепла залежно від температури зовнішнього повітря та призводить до надмірної витрати газу, с також неякісне горіння та велику кількість забруднюючих виділень.

На рис. 1 приведено загальний вид газового пальника типу "DAVA" зі змінним навантаженням. До основних конструктивних елементів пальника відносяться: вузол технічного газу (тиск газу, датчик температури газу, автоматичні газові клапани, регулятор витрати); вентилятор та електронний блок управління.

На рис. 2 приведено конструктивно-технологічну схему пальника.



Рисунок 1– Газовий пальник типу "DAVA" зі змінним навантаженням

До переваг цієї розробки відноситься можливість автоматичного регулювання, забезпечуючи формування стехіометричної суміші та її повне згоряння при строго регламентованому надлишку повітря протягом усього часу роботи установки пальника незалежно від зміни зовнішніх факторів, таких як тиск газу, напруга мережі, тиск у топці, атмосферний тиск тощо.

Використання ПІД-принципу автоматичного регулювання з пропорційним, інтегральним і похідним ефектом регулювання забезпечує оптимальне і безпечне регулювання зазначених параметрів в залежності від характеру виконуваного технологічного процесу.

Пальник розрахований на роботу в наступних режимах:

(а) Режим «Fix» (F), який є автономним режимом роботи, при якому теплотворна здатність пальника і температура теплового агента підтримуються на заданих (замовлених) оператором значеннях;

(b) автономний режим «Master» (M) – оператор лише встановлює температуру нагрівального агента, а теплотворна потужність, необхідна для отримання цієї температури шляхом її регулювання, розраховується та автоматично застосовується пальником;

(с) Режим "підлеглий" ("S") – являє собою режим роботи пальника, інтегрований в систему автоматизації опалювальної установки.

Конструктивний склад пальника відповідає умовам стандарту SM SR EN 676, технічним приписам РТ MD 27-02749742-003:1999 та комплекту технічної документації [5,8]. Захист пальника відповідає класу електробезпеки І згідно SR EN 60335-1:2003.

Висновок. Конструкція пальника на горючому природному газі типу «DAVA» відображає конструктивні особливості, які характеризуються показниками роботи при змінних навантаженнях, забезпечує адаптацію режиму роботи в автоматичному режимі, що дозволяє підвищити показники ефективності та надійності пальника при змінних навантаженнях. навантаження зі зменшенням споживання палива природного газу.

Принципово прийнятий режим роботи пальника став можливим завдяки конструктивній термічній оптимізації установки на високому рівні продуктивності, що забезпечує вирішення окремих технологічних проблем, що існують в машинах з постійним режимом роботи, а також сприяє підвищенню якості горіння. процесу, підвищення рівня надійності, ефективності експлуатації/технічного обслуговування, отримання високої ефективності, що, як наслідок, значно сприяє зменшенню споживання горючого природного газу та впливу на навколишнє середовище

Л і т е р а т у р а

1. Arzătoare automatizate de gaz de tip "DAVA", „Romany Gaz Group” SRL. - In: <http://www.rgg.md/doc.arzro.html>.
2. Daud V. Arzător de gaz monobloc automatizat de tip „DAVA”. – In: Tezele Conferinței Naționale „Instalații pentru construcții și confortul ambiental”, Timișoara, 2002. p. 125-128.
3. Catalogul Arzătoarelor de gaz monobloc automatizat de tip „DAVA”, „Romany Gaz Group” SRL, www.rgg.md/doc.arzro.html.
4. Gorelki gazovoe blocinoe «GBL», «GBL-R», «GBL-K» s razdelinom regulirovaniem sootnoşenia gaz-vozduh, planovom regulirovaniem moscinosti http://www.staroruspribor.ru/docs.php/prod/gorelki/gorelki_gas/gbl-r-k.htm.
5. GOST P 51383 - 99. Gazovoe gorelki avtomaticheskie s prinuditelinoi podaci vozduha M: Gosstandartt Possii, 2000.
6. Installation and Operation Manual. Combination Burners WM - GL20/2-A / ZM-T (W-FM 100/200).
7. Certificat de conformitate al Republicii Moldova: SNEC MD 1015 11A 35738-11.
8. Certificat de conformitate al Rusiei: C-MD. AB55.B.00072, Gosgortehnadzor, Rusia: Autorizație pentru utilizare № PPC 00-31699.
9. Certificat de conformitate al Ucrainei: Seria BB № UA1.013.0044485-07.
10. Departamentul pentru supravegherea tehnică din Republica Belarus, Autorizație pentru utilizare № 06, 274.2008.
11. Certificat de conformitate: CE de tip nr. 096 – 453/EC eliberat de SC ISCIR - CERT SA, România, organism notificat la Comisia Europeană, numărul de identificare 1798.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ, ЯК СПОСІБ ЗМЕНШЕННЯ ВИКІДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: АНАЛІТИКА ТА УЧАСНИКИ РИНКУ

Захарченко Л.Л. – аспірант, zaharchenko_l@i.ua

Тихонов І.В. – д.т.н., старший науковий співробітник, к.д.п., itykhonov@i.ua

Державний університет інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

USE OF WIND ENERGY AS A WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS: ANALYTICS AND MARKET PARTICIPANTS

Zakharchenko L.L. – postgraduate student, serafim@ukr.net

Tikhonov I.V. – Doctor of Technical Sciences, senior research officer, master marine,

itykhonov@i.ua

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article examines the state of development of technologies that use wind energy to reduce greenhouse gas emissions from the operation of ships, analyzes the types of wind turbines and their application, implementation examples, and development prospects. The implementation of renewable energy sources indicates the feasibility of their use and the need for further research to ensure the best combination of various innovative energy-saving technologies. The introduction of renewable energy sources indicates the expediency of their use and the need for further research. It is the comprehensive approach and the combination of the capabilities of state and private companies to continue research into the application of various innovative energy-saving technologies in the design of new and modernization of existing vessels that will allow us to achieve the best results in the near future.*

Keywords: *Wind energy, energy efficiency, wind-assisted propulsion system*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю дотримання вимог Міжнародної морської організації (ІМО), щодо до охорони навколишнього середовища та безпеки судноплавства, зменшення викидів парникових газів. Впровадження енергоефективних технологій в судноплавну галузь можуть суттєво зменшити викиди парникових газів та вплинути на експлуатаційні витрати судна за рейс. В розрізі зростання зацікавленості до впровадження альтернативних джерел енергії в галузі та їх впровадження на водних судах учасниками ринку перевезень, дозволяє зрозуміти перспективність їх впровадження.

Метою роботи є огляд сучасного стану впровадження відновлювальних джерел енергії, що можуть підвищити енергоефективність водних суден за рахунок використання енергії вітру та перспективи розвитку даного напрямку. Робота спрямована на розуміння того, як використання інноваційних технологій впливає на зменшення викидів парникових газів.

Незважаючи на те що судноплавна галузь є одна із найбільш екологічно чистих видів транспорту, частка викидів морських транспортних засобів у глобальних викидах парникових газів становить близько 2,89%, що залишає багато місця для вдосконалення та декарбонізації [1].

Багато міжнародних дослідницьких компаній, виробників та власників суден зацікавилися вирішенням питань пов'язаних із зменшенням впливу на навколишнє середовище під час експлуатації водних транспортних засобів, шляхом впровадження сучасних та іноваційних технологій, які використовують енергію вітру.

Наразі розробка різноманітної кількості вітрових установок (WAPS - wind-assisted propulsion system) фінансується державними та некомерційними програмами [2].

Сучасні вітрила – це інноваційні конструкції, які поєднують в собі останні наукові досягнення в цій галузі. Передові матеріали та моделювання дозволяє досягти їм найвищого рівня ефективності. Комп'ютерні системи судна дозволяють оптимізувати керування складними сучасними вітровими установками.

Експерти DNV розробили стандарт ST-0511, який типологізує вітроустановки:

- роторні установки (rotor sails);
- жорсткі вітрила (rigid wing sails);
- м'які вітрила (soft wing sails);
- система м'яких вітрил (soft sail system);
- вентилярована плівкова система (ventilated foil system).

Незалежна науково-дослідницька консалтінгова організація “CE Delfi”, яка спеціалізується на розробці рішень екологічних проблем, провела дослідження чотирьох видів сучасних вітрових установок. Експерти організації дійшли висновку, що для великих суден найкращий показник економії досягається при застосуванні ротора Флеттнера, а для малих суден – Кайт вітрил.

Оснащення судна системою Кайт вітрил, дозволяє отримати економію палива від 10 до 20%, а також не потребує збільшення чисельності екіпажу для обслуговування додаткових систем і судно не потрібно виводити з експлуатації для її встановлення.

На замовлення німецької компанії Enercon, ще у 2010 році на судні E-Ship 1, було встановлено чотири ротори типу Флеттнера висотою 27 метрів і діаметром 4 метри. Така технологія дозволила економити до 15% палива.

Ротори Флеттнера можуть досягнути рівня економії палива на рівні до 30-40% [3]. Їми можна облаштувати пором, автобуси, багатоцільові судна, балкери, танкери.

BAR Technologies у Портсмуті, Великобританія, і Yara Marine Technologies розробили систему вітрил із суцільним крилом (жорстким крилом) під назвою WindWings. WindWings створені за зразком авіаційного крила, прийшли, як інноваційні технології з вітрильного спорту. Даний тип вітрила дозволяє забезпечити економію палива до 30% [4].

Конструкція вітрил типу WindWings розбірна, а це дозволяє отримувати доступ до вантажних люків і за потреби проходити судам під мостами. Даним типом вітрила зацікавилась багатонаціональна харчова компанія Cargill, яка реалізувала партнерський проект спільно з BAR Technologies на одному із своїх суховантажних суден. В розрізі співпраці було заплановано встановлення даних вітрил на 20 судах компанії Cargill.

Японський стартап Eco Marine Power розробляє модифікацію жорстких вітрил у своєму проекті Saillet, які можливо використовувати і як самостійний енергоощадний пристрій. Вітрила можуть автоматично опускатись під час непогоди або коли вони не використовуються [5].

Також Eco Marine Power спільно з низкою партнерів працює над міжнародним проектом Aquarius MRE (морська відновлювальна енергетика).

Aquarius MRE - це інтегрована система жорстких вітрил, сонячних панелей, модулів накопичення сонячної енергії, системи зарядки та морських комп'ютерів, яка дозволяє використовувати енергію вітру та сонця [6].

Різноманітні варіації інноваційних жорстких вітрил знайшли своє розповсюдження і у інших виробників, які підхопили дану ініціативу, в бачачі в ній економічну привабливість.

Висновок. Впровадження відновлювальних джерел енергії в галузі судноплавства є необхідною умовою для досягнення амбітних цілей по скороченню викидів парникових газів. Проте застосування сучасних технологій потребує зваженого підходу до їх застосування для конкретного типу водного транспортного засобу.

Успішне впровадження заходів з енергоефективності не є простим, оскільки більшість із них вимагає зміни обізнаності та дотримання процедур, зосереджуючись на оптимізованій роботі споживачів енергії як для керівництва, так і для персоналу [7].

Л і т е р а т у р а

1. Veronica Jaramillo Jimenez, Hyungju Kim, Ziaul Haque Munim (2022) A review of ship energy efficiency research and directions towards emission reduction in the maritime industry. Retrieved from:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622024817?via%3Dihub>

2. Hasso Hoffmeister, Uwe Hollenbach (2022). More commercial ships utilize wind technologies to cut emissions. Retrieved from: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/more-commercial-ships-utilize-wind-technologies-to-cut-emissions#>

3. Кірсанова В.В., Биковець Н.П., Бражник І.Д. Енергоефективність морських суден як важливий елемент декарбонізації атмосфери. Retrieved from: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.17>

4. Ukrainian shiping magazine (2021) BAR Technologies и Yara Marine создадут жесткие паруса для судна Cargill. Retrieved from: <https://usm.media/bar-technologies-i-yara-marine-sozdadut-zhestkie-parusa-dlya-sudna-cargill/>

5. Ukrainian shiping magazine (2023) В Японії презентували енергоощадні вітрила Retrieved from: <https://usm.media/w-japoniji-prezentuvaly-energooszczadni-vitryla/>

6. Rigid sail & solar power technologies to reduce fuel consumption and ship emissions Retrieved from: <https://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-system>

7. Measures for ship design and operation to save costs and meet decarbonization requirements. Retrieved from: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/energy-efficiency/>

АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МОТОРВАГОННОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Іванов К.І. – аспірант, kostiantyn.ivanov@ieee.khpi.edu.ua

Чернишенко Є.Г. – аспірант, yevhen.chernyshenko@ieee.khpi.edu.ua

Рябов Є.С. – к.т.н., с.н.с. доц., yevhen.riabov@khpi.edu.ua

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Україна, м. Харків*

ANALYSIS OF AREAS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTIPLE UNIT ELECTRIC ROLLING STOCK

Ivanov K.I. – PhD student, kostiantyn.ivanov@ieee.khpi.edu.ua

Chernyshenko Ye.H. – PhD student, yevhen.chernyshenko@ieee.khpi.edu.ua

Riabov Ye.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher,
yevhen.riabov@khpi.edu.ua

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»
Ukraine, Kharkiv*

Abstract. Improving the mobility of the population requires the introduction of motor-car electric rolling stock with improved technical characteristics, high level of comfort for passengers and low environmental impact. The directions of improving the traction and energy properties of multiple unit electric rolling stock are considered. the expediency of using the distribution of traction load between electric motors of a multi-motor traction electric drive is shown. the feasibility of using energy recovery and on-board energy storage devices is analysed. the expediency of using energy-optimal modes of movement of multiple unit electric rolling stock is shown

Keywords: electric rolling stock, traction properties, energy efficiency

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оновлення моторвагонного електрорухомого складу. Це передбачено завданнями Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. №430-р [1]. У Стратегії відзначається необхідність реформування транспортної галузі, для чого необхідно вирішення завдань, пов'язаних з оновленням рухомого складу для пасажирських перевезень, заміні видів транспорту з вуглецевими викидами, просуванні “зелених” видів транспорту, застосуванні високотехнологічного рухомого складу тощо. З урахуванням суттєвого зносу наявного рухомого складу, досягнення вище вказаного можливе при створенні нового рухомого складу.

Метою роботи є аналіз шляхів покращення тягово-енергетичних властивостей моторвагонного електрорухомого складу.

Тягово-енергетичні властивості визначаються технічними параметрами електрообладнання електрорухомого складу. Номінальні режими роботи електрообладнання, як правило, визначаються з урахуванням граничних

режимів роботи електрорухомого складу. В реальних експлуатаційних умовах обладнання працює з навантаженнями, менше від номінальних. Це може призвести до підвищеного споживання енергії. Така ситуація виникає у багатодвигунному тяговому електроприводі на основі асинхронних електродвигунів. Як відомо, при роботі асинхронний електродвигун споживає намагнічуючий струм, величина якого визначається тільки напругою та частотою живлення. В режимах з незначним навантаженням це призводить до суттєвого зниження ККД електродвигуна. В [2] досліджені втрати у багатодвигунному тяговому електроприводі кар'єрного електровозу та показано, що при оптимізації роботи електродвигунів у режимах з неповним навантаженням досягається зниження споживання енергії. Оскільки тяговий електропривод моторвагонного електрорухомого складу є багатодвигунним, що можна очікувати, що схожий ефект буде досягнуто і при оптимізації його роботи у режимах з неповним навантаженням.

Аналогічно до описаного вище може бути впроваджена оптимізація навантаження вхідних перетворювачів на електрорухомому складі змінного струму. Як відомо, при невеликих навантаженнях знижується коефіцієнт потужності та зростають вищі гармонійні, що впливає до збільшення втрат у тяговій мережі. Тому вбачається доцільним розподіляти навантаження між перетворювачами з метою зменшення загальних втрат.

Для підвищення енергоефективності електрообладнання є доцільним визначення найбільш частих режимів його роботи і оптимізація енергетичних показників електрообладнання у цих режимах.

Безпосередньо від режимів роботи тягового обладнання залежить робота допоміжних систем, які забезпечують функціонування тягового обладнання. Зокрема, забезпечують його охолодження. Очевидно, що при зміні режиму роботи тягового електрообладнання доцільно коригувати роботу допоміжних систем з метою зниження споживання енергії.

Важливою технологією енергозбереження є рекуперація енергії та її використання у тягових режимах. Найбільша ефективність рекуперації досягається при акумулюванні енергії до бортового накопичувача. У [3] досліджено рух приміського електропоїзду та встановлено, що коефіцієнт рекуперації складає 0,26...0,47 ч.о. Тобто 26...47% енергії, яка витрачена на тягу, доступна для акумулювання у бортовому накопичувачі. Звісно, фактичні значення будуть нижчі. Однак це все одно достатні для впровадження цієї технології.

Енергозбереження досягається при впровадженні енергооптимального руху, який передбачає визначення енергооптимальних траєкторій руху [4].

Важливим напрямком є зменшення вуглецевого сліду, що використовується при алгоритмах Eco-driving [5].

Для досягнення найвищої енергетичної ефективності моторвагонного рухомого складу необхідне впровадження перелічених технологій з урахуванням їх взаємного впливу.

Висновки. В результаті аналізу встановлено, що для забезпечення високих показників енергоефективності на моторвагонному електрорухомому складі необхідно здійснювати оптимізацію роботи тягового та допоміжного електрообладнання, застосовувати бортові накопичувачі енергії та проваджувати енергооптимальні траєкторії руху. Врахування взаємного впливу цих технологій дозволить забезпечити найвищі показники енергоефективності.

Література

1. Розпорядження КМУ від 30 травня 2018 р. № 430-р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>, дата звернення 20.11.2024.
2. Riabov, I., Goolak, S., Kondratieva, L., Overianova, L. (2023) Increasing the energy efficiency of the multi-motor traction electric drive of an electric locomotive for railway quarry transport. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 42, 101416, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101416>
3. Буряковський, С., Овер'янова, Л., Нещерет, В., & Іванов, К. (2024). Оцінка потенціалу енергозбереження при застосуванні рекуперації енергії на моторвагонному електрорухомому складі для приміських перевезень. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (3), 52–59. <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.03.08>
4. Притула, М. Г. & Пасечник О. А. (2018). Розроблення алгоритмів формування енергооптимальних режимів руху поїздів. *Наука та прогрес транспорту*. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, № 6, 82-100.
5. Myslinski, A., Nahorski, Z., Szulc, K., & Radziszewska, W. (2018). Energy Consumption Optimal Control of the Train Movement. *Automation*. URL: <https://rcin.org.pl/Content/144791/PDF/RB-2017-10.pdf>, дата звернення 20.11.2024.
6. Blanco-Castillo, M., Fernández-Rodríguez, A., Fernández-Cardador, A. & Cucala, A.P. (2022). Eco-Driving in Railway Lines Considering the Uncertainty Associated with Climatological Conditions. *Sustainability*, 14, 8645. <https://doi.org/10.3390/su14148645>

ПІДВИШЕННЯ ЕНЕРГОЕЄМНОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ АКУМУЛЯТОРНИХ СИТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

¹*Костиця М.В.* – к.т.н., с.н.с., kostyrya_59@i.ua

¹*Кошель Н.Д.* – д.х.н., проф., kkknd@ua.fm

¹*Корпач С.В.* – пров. інж., koskor19@i.ua

²*Костиця В.В.* – пров. інж., kostyrya-kvv@i.ua

¹*Інститут транспортних систем і технологій НАН України*

Україна, м. Дніпро

²*Інститут геотехнічної механіки НАН України*

Україна, м. Дніпро

INCREASING THE ENERGY CAPACITY OF ELECTRODES OF BATTERY SYSTEMS OF VEHICLES

¹*Kostyrya M.V.* – Ph.D. in Technical Sciences, senior research scientist,
kostyrya_59@i.ua

¹*Koshel N.D.* – Doctor of Chemical Sciences, prof., kkknd@ua.fm

¹*Korpach S.V.* – leading engineer, koskor19@i.ua

²*Kostyrya V.V.* – leading engineer, kostyrya-kvv@i.ua

¹*Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Ukraine, Dnipro*

²*Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Ukraine, Dnipro*

Abstract. Composite materials for lead-acid batteries (LAB) electrodes were synthesized using an electrochemical method. The influence of electrode material components on the electrochemical, electrical, corrosion and mechanical properties of the electrodes was studied. It is shown that the use of nano-sized inclusions in the electrochemical coprecipitation of metals and dispersed non-metallic materials makes it possible to obtain materials with a high specific surface area and thereby significantly improve the porosity of electrodes. The effect is the increase of specific energy of electrodes and accumulator as a whole.

Keywords: composite, lead-acid battery, electrodeposition, electrode, energy capacity

Актуальність дослідження. В даний час питання енергоефективності та енергозбереження стають все більш актуальними, а екологічні проблеми та обмежені запаси палива підвищили інтерес до створення ефективних та надійних джерел живлення транспортних засобів.

Акумулятори є життєво важливою частиною електроенергетичної системи транспортного засобу, забезпечуючи безперебійну роботу його електричних пристроїв і електроніки. Як і раніше збільшення терміну служби і питомих показників акумуляторів є основними вимогами сучасного виробництва та наукових досліджень, що передбачає як удосконалення способу виробництва акумуляторів, так і розробку нових матеріалів для створення нових варіантів.

Одним із способів модернізації акумуляторних систем є використання композитних електродних матеріалів, які можуть мати підвищені механічні, електричні і корозійні властивості. Нові композиційні матеріали, що мають підвищену питому поверхню і структуру з високим ступенем дефектності можна отримувати методом електроосадження металів в таких умовах, які перешкоджають отриманню гальванічних осадів з регулярною кристалічною структурою, при цьому властивості композитних осадів можна варіювати, підбираючи матеріали та технологічні умови електролізу.

Метою роботи є розробка технології синтезування композитних свинцевих матеріалів і вивчення їхніх електрохімічних, електричних, корозійних властивостей.

Фахівцями Інституту транспортних систем і технологій НАНУ шляхом регулювання параметрів режиму електролізу і складу електроліту синтезовані композитні свинцеві матеріали з нанодисперсним оксидом титану, аеросилом, графітом, вуглецевими нанотрубками (ВНТ) різної структури [1, 2].

Вивчали залежність електрохімічних, електричних, корозійних властивостей синтезованих композитних осадів свинцю від вмісту нанодисперсних частинок в електроліті в процесі електролізу. Особливості електрокристалізації, структуру та морфологію свинцевих композитів досліджували методом скануючої електронної мікроскопії. Експериментально встановлено, що морфологія композитних осадів залежить від умов електроосадження.

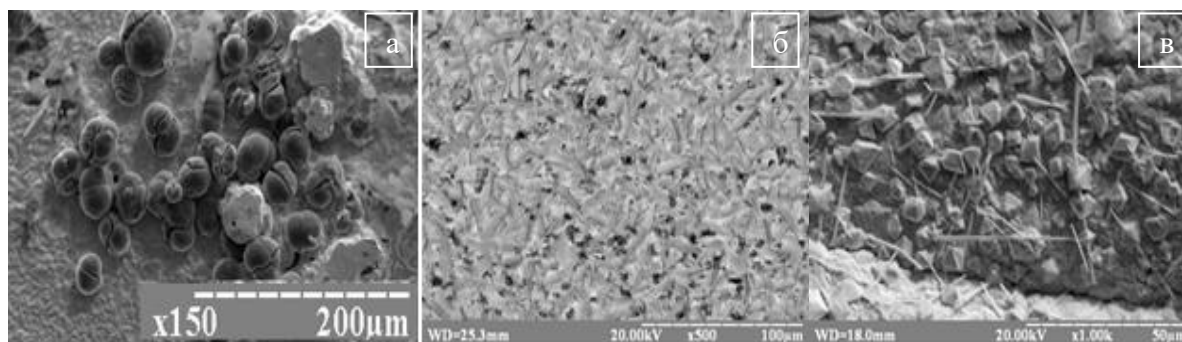


Рисунок 1 – Електронні фотографії поверхні свинцевих композитів з діоксидом титану (а), аеросилом (б), вуглецевими нанотрубками (в)

Такі композити мали підвищену електропровідність і покращені корозійні характеристики. Відомо, що однією з характерних властивостей металів є питомий опір. Він добре корелює з фізико-хімічними та механічними властивостями. Питомий опір чутливий до властивостей сплавів і композиційних гетерофазних покриттів, у яких фази відрізняються

електропровідністю. Резистометричним методом виміряно питомий електричний опір композитів. Результати досліджень показали, що питомий опір є чутливим до складу осаду та його кристалічної структури. Електроосадження дає можливість не тільки отримати композит певного складу шляхом добавок в електроліт або використання попередньо легованого анода, а й поліпшити стан поверхні решітки шляхом нанесення на поверхню решітки тонкого шару композиційного електрохімічного покриття.

Експериментально доведено, що підвищена корозійна стійкість такої решітки забезпечується не тільки створенням зовнішнього корозійностійкого шару, але і більш однорідною структурою поверхні свинцевого матеріалу. У свою чергу, однорідність поверхневого шару сприяє протіканню рівномірної поверхневої корозії без локалізованих корозійних руйнувань з катастрофічними наслідками, що дозволяє знизити вагові втрати акумуляторних решіток при корозії.

Висновок. Таким чином, поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, що має високу пористість і розвинену внутрішню поверхню. Отримані нами свинцеві композити можуть бути використані, наприклад, для виготовлення або модифікації електродних основ і активних мас свинцево-кислотного акумулятора, що дає можливість створення більш ефективних і надійних акумуляторних систем.

Л і т е р а т у р а

1. Кошель М.Д., Костиця М.В., Корпач С.В. Застосування наноконпозиційних електродних матеріалів акумуляторних систем у транспорті. Збірник матеріалів XV Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту», м. Дніпро (Україна), 2020, с. 54-58.
2. Костиця М.В., Корпач С.В., Герасіка Н.С. Спосіб модернізації акумуляторних систем для транспортних засобів. Збірник матеріалів 81 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», м. Дніпро (Україна), 2021, с.73-74.

ЕНЕРГІЯ ПРИЛИВІВ - ЧИСТА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЛЮДСТВА

Курепін В.М. – канд.екон.наук, доцент, kypins@ukr.net
Миколаївський національний аграрний університет
Україна, Миколаїв

TIDAL ENERGY - PURE ENERGY FOR HUMAN LIVES

Kurepin V.M. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, kypins@ukr.net
Mykolaiv National Agrarian University
Ukraine, Mykolaiv

Abstract. *It is no longer necessary to convince anyone that rational use and economical consumption of energy and natural energy resources is necessary. Today's new energy reality is the implementation of measures aimed at improving the quality of the environment, energy security, the formation of personal skills for economical and thoughtful use of energy. The world economy, as well as the economy of an individual state, is closely intertwined with the problems of energy saving and energy efficiency, ecology, technical rearmament and structural restructuring.*

Keywords: *renewable energy, energy of currents and tides, energy generation, environmental monitoring, ecology*

Актуальність дослідження зумовлена пошуком шляхів та методів вирішення найважливіших проблем у галузі відновлюваної енергетики, зокрема одним із напрямів нової енергетики, що розвивається - технологією використання енергії припливів. Тим більше, що війна з обстрілами та бомбардуванням енергетичних об'єктів, з реальними загрозами безпеці вітчизняних атомних електростанцій [1], з шаленим підняттям цін на енергоносії наочно продемонструвала, що ця галузь для країни стає однією зі стратегічних.

Метою роботи є обговорення проблем та перспектив розвитку використання відновлюваних джерел енергії, електро- та біоенергетичних ресурсів, тепла землі та тепlopостачання країни за рахунок використання енергії гідроенергетичних ресурсів, а також реалізації заходів щодо енергозбереження та енергоефективності.

Мешканці прибережних районів добре відчують силу та ступінь передбачуваності регулярних припливів та відливів, вони викликаються гравітаційними силами Місяця та Сонця. Енергія припливів раніше практично не використовувалася, але людство має на це амбітні плани щодо зміни цієї ситуації. Приливна енергетика має величезний потенціал, вона є джерелом екологічно чистої енергії в усьому світі [2]. Вона призначена для використання екологічно чистої енергії припливів для переходу до раціонального

використання ресурсів океану та запобігання кліматичним змінам [3]. Нажаль, у наш час така енергетика все ще знаходиться на початку свого розвитку.

Приливна енергетика стає загальносвітовою тенденцією, вона використовує технологію припливних течій, за допомогою підводних вітряних турбін, які встановлюються як на великій глибині, так і на мілководді, а також у гирлах широких річок. Підводні пристрої перетворюють енергію води, що рухається в момент припливу. Потік води обертає лопаті турбіни, виробляючи електрику. Турбіни надійно закріплюються на дні, безперебійно генеруючи екологічно чисту енергію.

У створенні екологічно чистої енергетики енергія сонця та вітру робить великий внесок [4]. Але повною мірою назвати такі джерела передбачуваними не можливо. Значною перевагою енергії припливів є їхня передбачуваність. Енергія припливів, як відновлюване джерело з передбачуваністю, є необхідною для функціонування енергосистеми

Є інші переваги енергії припливів – вони (підводні турбіни) приховані від очей і не псують пейзаж, важлива перевага полягає у відсутності гребель та інших перешкод для навігації, наявність безпечне проходження суден над приливними енергетичними установками.

Амбітні проєкти приливних енергетичних установок вперше у світі було реалізовано компанією Nova у співпраці з компанією Tesla в Шотландії. Підводна приливна електростанція була встановлена у 2016 році біля Шотландських островів. Наразі число турбін доведено до шести. Вже вісім років турбіни забезпечують національну систему чистою енергією. В результаті з'явилася перша у світі підключена до енергомережі приливна електростанція, здатна постачати енергію на запит [5]. Починаючи з 2018 року амбітні проєкти по можливості будівництва приливних електростанцій реалізуються в Канаді, Шотландії, Уельсі та Франції, в інших точках світу.

Як приклад перспектив розвитку використання відновлюваних джерел енергії за допомогою регулярних припливів та відливів є будівництво та експлуатація 15 турбін у протоці Петі (провінція Нова Шотландія, Канада).

Уряд Уельсу у 2020 році інвестував у будівництво приливної електростанції на острові Бардсі в північному Уельсі більше як один мільйон фунтів стерлінгів. Через деякий час людство отримує перший у світі острів, що отримує електроенергію лише з океану. Проєкт передбачає генерацію електрики з енергії течій та припливів між островом Бардсі та півостровом Ллін (п'ять турбін по 100 кВт із можливістю подальшого розширення).

2021 рік був знаковим для реалізації проєктів по будівництву приливних електростанцій. Новий проєкт у Шотландії «Oran na Mara», за рахунок якого будується тримегаватна припливно-відливна електростанція в протоці Айлей

(між островами Айлей та Джура у складі Гебридських островів Шотландії). Припливно-відливна електростанція буде забезпечувати генерацію чистої відновлюваної енергії, внаслідок якої виробництва мають можливість відмовитися від використання викопних видів палива.

Будуючи припливно-відливні електростанції, зрозуміло, треба забезпечити під час їх експлуатації повну безпеку морської фауни та флори. Екологічний моніторинг, наземні спостереження морських птахів та ссавців, підводні зйомки у районі встановлення турбін, вивчення морського життя біля підводних електростанцій та турбін - такі безпекові заходи допоможуть зберегти баланс між навколишнім середовищем та будівництвом та експлуатацією об'єктів економіки.

Багатолітній моніторинг довкілля має найбільший та найкращий у світі масив екологічних даних [6]. Ймовірність того, що поруч із працюючими турбінами буде риба, птахи, що пірнають, і морські ссавці, вкрай мала. За допомогою екологічних досліджень негативних впливів на морську екологію виявити не вдалося, було з'ясовано, що морські тварини не з'являються поруч з турбінами, які працюють. Наразі вже можна стверджувати, будівництвом та експлуатацією припливно-відливних електростанцій світ отримав екологічно чисте вирішення енергетичної проблеми.

Деякі науковці-дослідники стверджують зворотне, приливні електростанції мають кілька серйозних екологічних вад. Вони є значною загрозою для довкілля океану. Турбіни серйозно порушують приливні потоки. Вони можуть завдати шкоди морській фауні, яка потрапляє у лопаті.

Приливні електростанції існують і в інших формах, зокрема греблі та приливні лагуни. Вони можуть мати негативні екологічні наслідки, порушуючи морські екосистеми та створюючи велику кількість мулу. Наведемо приклад, приливна лагуна у Бретані (Франція), призвела до зникнення місцевої камбали у цьому районі. Приливні лагуни - це набагато більш екологічно безпечна форма. Такі електростанції працюють у захищених, штучних прибережних басейнах. Але вироблення енергії ними набагато нижчі, ніж в інших видів.

Багато захисників клімату стверджують - ми не можемо дозволити собі відмовитись від приливної енергії. У світі є регіони які особливо добре підходять для розширення приливної енергії (наприклад, території довкола Великобританії та Китаю), їх обов'язково треба використовувати, такі електростанції є надзвичайно надійними і можуть прослужити до 100 років.

Приливна енергетика – це нова технологія. Зрозуміло, що витрати на неї захмарні, але на початковому етапі (розробка, впровадження). Тим не менш, дефіцит енергії у поєднанні з гострою необхідністю знизити глобальні викиди парникових газів стають останнім поштовхом [7], необхідним для того, щоб

надати припливу шанс отримати конкурентну перевагу на енергетичних ринках.

Наразі витрати на неї вже падають. Вона за вартістю вже може конкурувати з дизельними електростанціями, маючи при цьому значні переваги. Немає сумнівів, це вирішення багатьох проблем для віддалених і острівних населених пунктів, куди генерується енергія за рахунок завозу дизельного палива. У майбутньому приливна енергія стане дешевшою, ніж енергія атомних станцій та станцій на викопному паливі.

Висновок. Все більш серйозну загрозу для світової економіки та екології становить зміна клімату. У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність знаходити стійкі, відновлювані та екологічно чисті джерела енергії. Одна із складових переходу до екологічно чистої економіки є використання енергії припливів та відливів. Це надасть можливість збільшити відсоток відновлюваної енергії в енергозабезпеченні житлових комплексів у всьому світі.

Л і т е р а т у р а

1. Іваненко В. С. Захист навколишнього середовища як засіб збереження та побудови миру / наук. керівн. В. М. Курепін // Сталий розвиток міст : матеріали XVI Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції : в 4-х ч. / Ч. 2., 21-22 квітня 2023 року. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. С. 634-638. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13799>.

2. Курепін В. М. Екологічна безпека регіонів через впровадження безпечних ресурсозберігаючих технологій. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 30-31 травня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 84-87. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18195>.

3. Kurepin V., Marchenko D. (2024). Modern technologies for protecting the environment from exposure solar power plants. Modern Economics, 44(2024), 79-84. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18433>.

4. Batsurovska I., & Kurepin V. (2024). Prospects for the use of wind power plants: advantages and environmental safety. Traditions and new scientific strategies in the context of global transformation of society. Baltija Publishing, 1, 34-55. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17403>.

5. Мелашенко Ю. С., Курепін В. М. Використання енергетичних ресурсів: вплив на навколишнє середовище. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 30-31 травня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2024. С. 102-104. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18207>.

6. Курепін В.М. Аналіз негативних чинників воєнних дій щодо ушкодження екосистем України // *Ekologia i racjonalne zarządzanie przyrodą: edukacja, nauka i praktyka* [Zasób elektroniczny]: materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-praktycznej (Łomża – Żytomierz, 15.11.2023 r.). Łomża : MANS w Łomży, 2023. С. 246-255. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16199>.

7. Іваненко В.С. Екологічні проблеми використання та охорона річок басейну Прип'яті // *Transboundary Dniester River Basin Management and EU Integration – Step by Step : Proceedings of the International Conference Chisinau, October 27-28 2022* / editor: Ilya Trombitsky; editorial and scientific conference committee: Gheorghe Duca [et al.]. Chişinău: Eco-TIRAS, 2022 (Arconteh). С. 92-96. URL:<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11848>.

АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА: КРОКИ ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ УКРАЇНИ

Лазіс М.І. – магістрант, lazis.com@gmail.com
Миколаївський національний аграрний університет
Україна, Миколаїв

ALTERNATIVE ENERGY: HOURS TO UKRAINE'S ENERGY INDEPENDENCE

Lazis M.I. – student of higher education, lazis.com@gmail.com
Mykolaiv National Agrarian University
Ukraine, Mykolaiv

Abstract. *Energy saving, which is the main source of strategic plans for development in high-cost countries. In matters of energy efficiency, unfortunately, Ukraine still lags significantly behind the developed world. Despite the existence of a strategy and state targeted programs, our state, instead of reliably investing in reducing energy consumption, buys large volumes of gas. Indicators of energy consumption per unit of production in developed countries are many times lower than in Ukraine. It is necessary to give up the dominance in the domestic economy of industries with outdated energy-intensive technologies, to increase the culture of energy consumption among the population, to get rid of the chronic dependence on the import of energy resources.*

Keywords: *energy efficiency, alternative energy, independence, renewable sources, country's potential*

Актуальність дослідження. Протягом останніх десятиліть дискусії щодо переваг та перспектив відновлюваних джерел енергії над традиційними не припиняються. Як і раніше, протягом ще кількох десятиків років традиційні джерела енергії будуть залишатися основними. Аналіз можливості підвищення енергоефективності економіки, активізації енергозбереження з урахуванням перспектив відновлюваної генерації, скорочення субсидій на традиційну енергію, впливу чинників на швидкість енергетичної трансформації дозволить показати шляхи досягнення енергетичної незалежності країни.

Метою роботи є аналіз основних проблем та перспектив ринку альтернативної енергетики в Україні; теоретичний аналіз тенденцій підвищення енергоефективності сучасної економіки з урахуванням можливостей відновлюваної генерації, традиційного палива та залучення альтернативної енергетики.

Для досягнення енергетичної незалежності потрібно застосовувати заходи щодо енергозбереження, як у промисловості та і у побуті, використовувати наявний потенціал відновлюваних та альтернативних джерел країни. Бажання

рухатися в одному напрямку з європейськими партнерами підвищує інтерес до альтернативної енергетики в країні [1].

У майбутньому альтернативні джерела енергії будуть забезпечувати майже половину світового попиту. І це лише початок. Активність ринку буде тільки зростати, хоча скептики стверджують, що такий поворот подій є нереальним. Проте ринок показує хорошу динаміку, частка енергії з відновлюваних джерел на ринку з року в рік активно збільшується. Ми маємо переконливу динаміку по формуванню енергетичного попиту, поглянемо на нього.

Ще декілька років тому обладнання для альтернативної енергетики подешевшало в середньому на 18% - 20%, а у період з 2022 року до 2025 року буде дешевіти і становитиме 30%. Знизилася вартість не тільки станцій, а й електроенергії, що виробляється ними [2]. Низка країн вже давно оголосили конкурси на право будувати електростанції, перемагають ті учасники, які пропонують меншу ціну реалізації енергії.

Наразі вартість будівництва сонячної електростанції вдвічі дешевше, вітрові подешевшали на чверть. У найближчому майбутньому такі типи станцій вводити в експлуатацію стане ще дешевше, сонячні – на 55%, вітрові – на 25% відповідно.

В умовах сьогодення важко передбачити, якими будуть ціни на нафту та газ, тому планувати розвиток економіки, що базується на традиційних енергоресурсах наразі важко. До того ж, ці ресурси останнім часом перетворилися на політичний вплив або засіб біржової гри [3]. Тому навіть у короткостроковій перспективі планувати ціноутворення з розвитку економіки важко. Потрібен пошук нових рішень, а він починається тоді, коли старі рішення перестають працювати.

Ризики, пов'язані із забрудненням довкілля ігнорувати неможливо, не дозволяють це робити аномальні природні зміни. Тому одна за одною з'являються державні програми, які спрямовані на скорочення споживання нафтопродуктів та інших видів природного палива, максимізацію використання наявних ресурсів. Такі програми припускають відмову від пластику, вторинну переробку речовин та матеріалів, перехід на гібридні автомобілі та відновлювані джерела енергії.

У деяких країнах вартість виробництва електрики із сонячної енергії вже зрівнялася з роздрібними цінами на електроенергію у побуті, комерційному та промисловому сегментах ринку. Такі держави, як Японія, Індія, держави Скандинавії, Іспанія, Німеччина, Італія, США, Китай вже оцінили переваги альтернативної енергетики. На їхню частку припадає близько 80% світових потужностей [4]. Опираючись на практику вищеперерахованих держав можна

стверджувати, альтернативна енергетика може бути рентабельною без додаткової підтримки.

В Україні, поки що, джерела енергії, що поповнюються, не займають суттєвої частки, але їх розвиток незаперечний. З початку десятиліття частка відновлювальної енергетики зростає майже вдвічі. Для нас оптимальне використання енергії сонця, вітру та біомаси [5].

Монополізований ринок української сонячної енергетики у 20-х роках 21 століття став розвиватися, у 2014 році були встановлені нові «зелені» тарифи, українські та зарубіжні інвестори звернули увагу на даний сегмент (сонячну енергетику). Кількість введених в експлуатацію станцій сонячної енергетики різко збільшено.

Незважаючи на те, що сонячна енергетика є відносно новою галуззю в Україні, її темпи розвитку надзвичайно високі. До розташування сонячних електростанцій уся територія нашої держави придатна. Найбільш сприятливими є південні регіони України, це Запорізька, Миколаївська, Одеська, Херсонська області на який зосереджено понад 55% промислових станцій сонячної енергетики (СЕС).

Сьогодні, вважається, що наша держава має один з найвищих темпів розвитку сонячної енергетики в Європі. Нажаль вторгнення агресора завдало значної шкоди галузі [6]. На півдні сьогодні тривають активні бойові дії, на цій території знаходиться дві третини українських СЕС, приблизно 25% сонячних електростанцій сьогодні знаходиться на окупованих територіях.

Незважаючи на мінливі умови сьогодення серед населення попит на сонячні батареї зростає. Вже біля 3 тисяч приватних господарств, встановивши сонячні панелі, продають надлишки згенерованої енергії. Крім того, є програми пільгового кредитування та повернення з обласних бюджетів до 22% річних за кредитами на сонячні панелі.

Перспективна і вітряна енергетика, але термін її окупності тут вищий. Помірний клімат в Україні забезпечує потоки вітру, які відзначаються по всій території, це перспективно. Від того кількість вітряних генераторів у країні зростає [7]. Вітроенергетика працює на Львівщині, Харківщині, Донеччині, Луганщині, її відкрито у Дніпропетровській, Миколаївській, Одеській та Запорізькій областях.

В Україні двома способами використовують біомасу для одержання енергії: а) перший - переробляють технічні культури: соняшник, сою та ріпак; б) другий - переробляють побутові відходи, відходи підприємств сільського господарства та переробної промисловості.

У сільському господарстві України відходів біомаси достатньо. Переробкою біовідходів можна забезпечити газом 5-6% річної потреби держави. Біомасові установки можуть знизити обсяг імпорту газу на 9%-10%.

В Україні приблизно 13% малородючих земель, їх треба використовувати для вирощування спеціалізованих енергетичних культур: енергетичної верби, міскантусу, тополі тощо. Вирощування таких енергетичних культур може забезпечити перехід на тверде паливо та замінити на тверде паливо 23 млрд. м³ газу. Це дві третини споживання газу Україною.

В умовах геополітичних ризиків це один із шансів для нашої держави здобути енергетичну незалежність. Необхідність використання альтернативної енергетики обов'язкова, тому держава підтримує перехід до альтернативних джерел енергії та стимулює інтерес до використання відновлювальних джерел енергетики компаніями та фізичними особами. Наразі кількість ліцензованих об'єктів електроенергетики, які використовують альтернативні джерела збільшилася до 350 об'єктів.

Україна має статус повноправного члена Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA). IRENA для України, це нові можливості у залученні світових практик та технологій, покращення інвестиційного іміджу нашої держави. Ми маємо доступ до Фонду розвитку Абу-Дабі (подаємо заявки) для отримання пільгових кредитів на «зелені» проекти, спільне фінансування проєктів (50% вартості проєкту) «зеленої» енергетики.

Але, нажаль, є і гальмування у розвитку «зеленої» енергетики: зайва бюрократизація, недосконале законодавство тощо. Уряд прогнозує, що до 2035 року частка альтернативної енергетики в Україні становитиме 25%. Результати аналізу ринку нашими фахівцями менш оптимістичні: до озвученого терміну не варто очікувати на частку, що перевищує 15%.

Отже, в останні десятиліття, відмовляються від традиційних джерел енергії і намагаються повністю перейти до альтернативних. Така тенденція буде і надалі. Бізнес з кожним роком все більше починає розуміти важливість збереження стану навколишнього середовища та намагається мінімізувати негативний вплив своєї діяльності на природу. Тисячі компаній у світі, а також і в Україні, сьогодні роблять вирішальні кроки на шляху до екологізації свого виробництва.

Глобальний процес трансформації електроенергетичного сектора не обійшов і Україну, пануюча тенденція сьогодення - перехід на виробництво та використання альтернативної енергії. Використання альтернативної енергетики та енергоефективності дозволять як заощадити кошти, так і підвищити якість

енергопостачання. Наразі популярність альтернативних методів генерування електрики безперервно зростає, так буде і надалі.

Л і т е р а т у р а

1. Іваненко В.С., Курепін В.М. Наближення національного законодавства до міжнародних норм з питань безпеки праці // OSHAgro – 2023: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 3 жовтня 2023 р.). Київ : НУБіП України, 2023. С. 66-69.

URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15934>.

2. Курепін В.М. Марченко Д.Д. Сучасні технології захисту навколишнього середовища від впливу сонячних електростанцій. Modern Economics. 2024. № 44(2024). С. 79-84. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18433>.

3. Мелашенко Ю. С., Курепін В. М. Використання енергетичних ресурсів: вплив на навколишнє середовище. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 30-31 травня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2024. С. 102-104. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18207>

4. Бацуровська І.В., Чурило Р.Є. Поточний стан та перспективи розвитку сонячної енергетики // Стратегічні орієнтири розвитку науки, освіти, технологій і суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 5 листопада 2022 р.): у 2 ч. Біла Церква : ЦФЕНД, 2022. Ч.1. С. 30-31. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/13358>.

5. Курепін В.М. Екологічна безпека регіонів через впровадження безпечних ресурсозберігаючих технологій. Продовольча безпека України в умовах війни і післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум = Food security of Ukraine in the conditions of the war and post-war recovery: global and national dimensions. International forum : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 30-31 травня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2024. С. 84-87. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18195>.

6. Курепін В.М., Іваненко В.С. Екологія та війна, погляд через минуле у майбутнє, глобальні виклики, загрози // Ekologia i racjonalne zarzadzanie przyrodą: edukacja, nauka i praktyka [Zasób elektroniczny]: materiały z międzynarodowej konferencji naukowo-praktycznej (Łomża – Żytomierz, 15.11.2023 r.). Łomża: MANS w Łomży, 2023. С. 265-275. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/16200>.

7. Batsurovska I., & Kurepin V. (2024). Prospects for the use of wind power plants: advantages and environmental safety. Traditions and new scientific strategies in the context of global transformation of society. Baltija Publishing, 1, 34-55. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/17403>.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИПІВ ТА КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ ІНВЕРТОРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДОМОГОСПОДАРСТВ

Левицький М.Є. – бакалаврант, mishauser0@gmail.com

Мороз О.М. – д.т.н., проф., moroz.an@ukr.net

Державний біотехнологічний університет

України м. Харків

STUDY OF TYPES AND KEY PARAMETERS OF HOUSEHOLD SOLAR POWER PLANTS INVERTERS

Levitsky M.E. – bachelor's student, mishauser0@gmail.com

Moroz O.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, moroz.an@ukr.net

State Biotechnological University

Ukraine, Kharkiv

Abstract. *The situation in Ukraine's energy sector is critical due to constant missile and bomb attacks by Russian troops on energy facilities, resulting in a shortage of energy that leads to constant disconnections of consumers from the grid. The electricity shortage can be partially covered by solar power plants, including households. Reliable operation of a solar power plant is possible only with the right choice of inverter, the key parameters of which are power, number of phases, initial, maximum and rated voltages, monitoring functions and other parameters. Currently, it is advisable to build solar power plants with a hybrid inverter.*

Keywords: *Household solar power plant, net billing, inverter types, inverter parameters*

Актуальність дослідження зумовлена широким будівництвом сонячних електростанцій домогосподарств (СЕСд) в Україні для забезпечення автономності при відключеннях електричної енергії, а також отримання додаткових доходів за рахунок продажі надлишків електричної енергії за «зеленим» тарифом або механізмом самовиробництва електричної енергії (net billing).

Метою роботи є дослідження типів інверторів для СЕСд та ключових параметрів за якими обираються інвертори для цих станцій.

Внаслідок систематичних та цілеспрямованих обстрілів енергетичних об'єктів України російськими військами виник значний дефіцит електричної енергії, який можливо частково задовільнити за рахунок відновлювальних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій в тому числі і СЕСд. Стратегія розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року [1] передбачає заохочення суб'єктів господарювання приватної форми власності будівництва та введення в експлуатацію усіх видів розподіленої генерації зокрема шляхом доступного кредитування. Перевагами будівництва СЕСд є такі фактори, як малі терміни будівництва та введення в експлуатацію.

СЕСд поділяються на різні типи в залежності від способу підключення їх до енергосистеми, зокрема:

- 1) Автономні (off-grid) СЕС. Ці станції не підключені до загальної енергомережі і забезпечують енергетичну незалежність домогосподарства. Основними елементами таких СЕС є фотоелектричні модулі (ФЕМ), інвертори та акумуляторні батареї (АКБ) для зберігання електроенергії.
- 2) Мережеві (grid-tied) СЕС. Такі станції підключені до загальної енергосистеми. Згенерована електроенергія використовується для власних потреб ДГ, а надлишки можуть бути передані в мережу. Це дозволяє власнику СЕС отримувати компенсацію за відпущену в мережу електроенергію за допомогою механізму net billing [2] або за «зеленим» тарифом.
- 3) Гібридні (hybrid systems) СЕС. Такі СЕС під'єднані до загальної мережі і мають у своєму складі ФЕМ, інвертори та АКБ. Режим роботи АКБ такої станції залежить від ціни електричної енергії із загальної мережі, ціни електроенергії на ринку на добу наперед (РДН), прогнозів відключень загальної мережі, максимальних та мінімальних рівнів заряду батарей, наявності договору на підключення багатотарифного лічильника, можливості регулювати електроспоживання ДГ.

В залежності від типу СЕС ДГ використовуються такі типи інверторів: автономний інвертор (Off-Grid Inverter), мережевий інвертор (Grid-Tied Inverter) та гібридний інвертор (Hybrid Inverter), які мають свої унікальні характеристики [3, 4]. Ключовими параметрам, за якими вибираються інвертори для СЕСд є такі параметри [5]:

- 1) Тип СЕСд (автономна, мережева, гібридна).
- 2) Потужність інвертора, яка повинна становити 80-90% від максимальної потужності всіх ФЕМ, які входять до складу СЕС.
- 3) Кількість фаз (1-о фазні підходять для домогосподарств із навантаженням до 10-12 кВт, 3-и фазні – для більш потужних СЕС).
- 4) ККД, як правило це 95-98%.
- 5) Початкова, номінальна та максимальна напруги. Початкова напруга це напруга при якій інвертор починає свою роботу, номінальна напруга – напруга з якою інвертор може працювати тривалий час, максимальна напруга – напруга на вході від стрінгу ФЕМ.
- 6) Робочий діапазон напруг МРРТ.
- 7) Максимальний вхідний струм та струм коротко замикання на МРРТ.
- 8) Кількість МРР трекерів.
- 9) Максимальна кількість входів на МРР трекер.
- 10) Номінальна вихідна потужність та напруга.

- 11) Максимальний вихідний струм.
- 12) Номінальна частота струму.
- 13) Діапазон робочих температур.
- 14) Спосіб охолодження (для СЕСд це як правило природна конвекція).
- 15) Функції моніторингу – це може бути як локальний моніторинг (через екран інвертора), так і дистанційний доступ через інтернет або мобільні додатки, що дозволяє власникам СЕСд відстежувати ефективність її роботи, отримувати інформацію про потенційні проблеми та оптимізувати споживання енергії за рахунок інтеграції його в систему «розумного будинку».
- 16) Розміри (повинні відповідати доступному простору для його розміщення) та вага.
- 17) Період гарантії, репутація виробника та наявність сервісного обслуговування в Україні.
- 18) Ціна.

Висновок. В результаті проведеного дослідження визначено, що тип інвертора для СЕСд залежить від цілей будівництва станції. Ключові параметри, за якими обирається інвертор, залежить від потужності станції, кількості фаз, напруги стрінгів фотоелектричних модулів, кількості МРР трекерів, функцій моніторингу, а також періоду гарантії, бренду та ціни. Враховуючи ситуацію в енергетичній галузі України на разі доцільним є встановлення СЕСд з гібридним інвертором та АКБ.

Л і т е р а т у р а

1. Розпорядження КМ України «Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2026 роках». Режим доступу: <http://surl.li/fgycnf> (дата звернення 15.11.2024).
2. Савченко Ольга. Самовиробництво електричної енергії (net billing). Режим доступу: https://ecoclubrivne.org/netbilling_instruction/ (дата звернення 15.11.2024).
3. Які бувають інвертори? Яка між ними різниця? Мережевий - Автономний – Гібридний. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=FYzGmj1OLVY> (дата звернення 15.11.2024).
4. Мороз О. М., Мірошник О. О. Проектування об'єктів альтернативної енергетики: курс лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Х.: ДБТУ, 2023. 117 с. Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/25734> (дата звернення 16.11.2024).
5. Гібридний інвертор HUAWEI SUN2000-3KTL-L1 (1Ф, 3кВт, 2 МРРТ). Режим доступу: <https://highenergy.com.ua/item/28/huawei-sun2000-3ktl-l1> (дата звернення 16.11.2024).

РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ БАГАТОЖИЛЬНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КАБЕЛЮ

Ляшенко В.І. – науковий співробітник, valerii.eu@gmail.com

Камінський В.Р. – к.т.н., skj93skj94@gmail.com

Комаров С.В. – провідний інж., komarov@westa-inter.com

*Інститут транспортних систем і технологій НАН України,
Україна, м. Дніпро.*

CALCULATION OF TEMPERATURE FIELDS OF STRANDED ELECTRIC CABLE

Liashenko V.I. – Researcher, valerii.eu@gmail.com

Kaminsky V.R. – Ph, skj93skj94@gmail.com

Komarov S.V. – leading engineer, komarov@westa-inter.com

*Institute of Transport Systems and Technologies of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Ukraine, Dnipro*

Abstract. *The unsteady heat transfer of an electric cable with single- and multilayer electrical and thermal insulation under the action of high-enthalpy gas flows, low temperatures, electromagnetic fields, as well as under conditions of electric explosion caused by the action of high-density pulsed currents is considered. The algorithms for calculating the thermal modes of electric cables based on the methods of successive intervals and finite differences are proposed. The results of parametric studies and comparison with experimental data are presented. The requirements for ensuring reliable operation of cable structures under extreme operating conditions are established.*
Keywords: *cable line, electro-thermal insulation, conjugate problem, mathematical model, unsteady heat exchange*

Актуальність дослідження зумовлена підвищенням вимог до надійності та довговічності високонавантажених вузлів обладнання, тривалого струмового навантаження кабельних ліній. Важливе значення набувають задачі, пов'язані з найповнішим врахуванням усіх фізико-механічних, електротехнічних, теплотехнічних чинників, що безпосередньо впливають на розрахункові ресурсні характеристики системи. До однієї з них належить задача знаходження температурного поля. Визначення температурних полів елементів конструкцій під час впливу на них полів різної фізичної природи вимагає розв'язання цілого комплексу взаємопов'язаних задач газової динаміки, електродинаміки, теорії теплопровідності, тобто, розв'язання зовнішніх задач спряженого теплообміну, пов'язаних із процесами зміни стану електроізоляції складного складу під дією агресивних чинників. Експериментальне вивчення цієї взаємодії вимагає дорогих, складних і тривалих випробувань, тому особливо актуальним є чисельне моделювання цих процесів [1,2,3,4,5].

Метою роботи є дослідження нестационарного теплообміну електричного кабелю в сполученій постановці в умовах впливу високоентальпійних газових потоків, низьких температур, електромагнітних полів, а також в умовах електричного вибуху під дією імпульсних струмів високої щільності. Врахування неоднорідності протікання більшості процесів під час розв'язання задач у такій складній сполученій постановці представляє труднощі з математичного та обчислювального погляду. Тому виникає необхідність розроблення алгоритмів розв'язання сполучених задач теплообміну, заснованих на різних математичних спрощеннях математичної постановки задач [1,2].

Представлено математичну модель задачі розрахунку температурних полів електричних кабелів. У розв'язанні нелінійного рівняння, що описує цей процес, враховано неоднорідні умови. Вони характеризують наявність різних зовнішніх і внутрішніх впливів на складові елементи конструкції кабелю.

Математична модель нелінійної задачі нестационарної теплопровідності для складеної системи з неідеальним тепловим контактом на стиках містить вираз потужності внутрішніх джерел тепла.

$$F_v(x_v, T_v, \tau) = \sum_{j=1}^N W_{v,j}(x_v, T_v, \tau) \text{ де } N - \text{кількість впливів.}$$

Потужність внутрішніх джерел (стоків) тепла являє собою суперпозицію потужності джерел тепла, що є наслідком впливу на конструкцію полів різної фізичної природи. Запропоновано в рівнянні теплопровідності з відповідними граничними та початковими умовами тепловий ефект впливу цих полів на елементи конструкцій враховувати у вигляді джерела тепла $W(x, F_0)$.

Фазові перетворення в матеріалі кабелю враховуємо у вигляді $W_{v,1}(x_v, T_v, \tau_v)$; джоулеві тепловиділення $-W_{v,2}(x_v, T_v, \tau) = I^2 R_{ж-}$ $W_{v,3}(x_v, T_v, \tau) = I^2 R_{ж-}$ -, де $R_{ж-}$ - опір жили постійному струму за робочої температури, - $R_{ж-}$ опір жили на змінному струмі, за якого втрати в жилі зростають через збільшення опору, спричиненого поверхневим ефектом і ефектом близькості. $W_{v,4}(x_v, T_v, \tau) = I_c \operatorname{tg} \delta U$ - тепло, що виділяється через діелектричні втрати в ізоляції, де I_c - ємнісна сила струму та $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат, U - діюча напруга в кабелі [5]. Для радіочастотного коаксіального кабелю джерела тепла визначають із виразу $W_{v5} = P_0 e^{-2\alpha z}$ де α - коефіцієнт загасання, z -координата по довжині кабелю [5]. У математичній моделі що розглядається, граничні функції $f_l(\tau), (l=0;1)$, залежно від типу граничних умов є температурою поверхні, температурою навколишнього

середовища, тепловим потоком; $\alpha_i^*(T, \tau)$ - приведені коефіцієнти теплообміну на зовнішніх поверхнях системи. Вважаючи коефіцієнти α_i, h_i, M_i в рівнянні такими, що дорівнюють 0 або ± 1 , маємо граничні умови першого-третього роду і різні їхні поєднання.

У разі ідеального теплового контакту в рівнянні $\alpha_2 = 0; f_2(R_v, T, \tau) = 0$. За наявності термічного опору на стику шарів [4] $\alpha_2 = 1$, функція $f_2(R_v, T, \tau) = \omega_{v,v+1}(R_v, T, \tau)$ характеризує джерела або стоки тепла на контакті шарів, які визначаються за співвідношеннями для $W_{v,j}$ або за даними експерименту. Задача може бути вирішена наближеними аналітичними та чисельними методами. [4]

Одним із підходів до розв'язання нелінійних задач теплопровідності є метод послідовних інтервалів [1], який полягає в розбивці часу процесу на кінцеві інтервали, у кожному з яких характеристики матеріалу, внутрішні джерела тепла та коефіцієнти тепловіддачі є постійними. У такій постановці нелінійна задача теплопровідності зводиться до сукупності розв'язків лінійних задач із різними початковими та граничними умовами для кожного інтервалу часу. Використовуючи розв'язок лінійної задачі теплопровідності, розв'язок поставленої задачі запишемо у вигляді

$$t_{v,j}(x, \tau) = \sum_{i=1}^{2m} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \Omega_{n,j}^v [\mu_{n,i}(x), \varphi_n] g_{i,j}^{(n)}(\tau) + \sum_{k=1}^{\infty} E_{j,i}^v(x, p_k) \exp(p_k \tau) \right\} + \Gamma_{v,j}^*(x, \tau), \quad (1)$$

де функції $g_{i,j}^{(n)}(\tau)$, φ_n , $t_{v,j}$, $\mu_{n,i}(x)$, $\Omega_{n,j}^v [\mu_{n,i}(x), \varphi_n]$, (x, τ) , $E_{j,i}^v(x, p_k)$, $\Gamma_{v,j}^*(x, \tau)$, визначаються за співвідношеннями, наведеними в [1].

Розв'язання (1) дає змогу отримати температурне поле електричного кабелю за його різними перерізами. За необхідності дослідження розподілу температур по довжині кабелю, необхідно використовувати чисельні методи, оскільки можливості використання рішення (1) обмежені.

Як приклад досліджено температурне поле струмовода (складеного стрижня) круглого поперечного перерізу з міді з розмірами $1_1 = 1_2 = 6 \cdot 10^{-1} \text{ м}$ і $h = R/2 = 4 \cdot 10^0 \text{ м}$. На торцях стрижнів задано граничні умови 3-го роду з коефіцієнтами тепловіддачі $\alpha_1 = 20$ і $\alpha_2 = 500 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$. Для визначення температурних полів системи стрижнів вибираємо оптимальне значення інтервалу часу. Під час струмових навантажень залежність температури стрижня від часу навантаження має різко виражену нестационарність. У зв'язку з цим із деякого моменту часу виникає необхідність у зменшенні часового інтервалу.

При розрахунку вважаємо, що теплофізичні характеристики матеріалу постійні в інтервалах $\Delta Fo_j = 1 \cdot 10^{-1}$ часу, а приріст часу $\Delta Fo_{j,i}$ в інтервалі ΔFo_j варіювався від $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-1}$. Зі збільшенням часу струмового навантаження похибка розрахунків зростає. Визначено, що оптимальним є приріст $\Delta Fo_{j,i} = 1 \cdot 10^{-3}$.

Результати розрахунків температурного поля за різних струмових навантажень, отриманих методом послідовних інтервалів і за допомогою методу скінченних різниць, свідчить про їх задовільний збіг.

Температурні профілі струмовода по довжині стрижня мало відрізняються один від одного за малих струмів. При струмі 1500 А спостерігається істотне зростання температури теплового кінця струмовода. На першому стрижні з боку його холодного кінця градієнт температури малий. Отримані результати дають змогу вибрати оптимальні геометричні параметри струмовода і режими струмового навантаження.

Теплонапружені поверхні елементів конструкцій кабелів необхідно тепло ізолювати. По-перше, для забезпечення працездатності окремих елементів або всієї конструкції, запобігання впливу на них високих температур або теплових потоків великої питомої щільності. По-друге, для зменшення втрат тепла, збереження високого електричного потенціалу, підтримання заданого теплового режиму роботи. Як приклад розглянуто прогрівання електричного кабелю під час нагрівання високоентальпійним потоком газу. Зовнішній додатковий тепловий вплив, може мати різну фізичну природу та характеризується тепловим потоком $q(x)$, коефіцієнтами тепловіддачі $\alpha_r(\tau)$, температурою зовнішнього потоку газу, що набігає. $T_r(\tau)$. Крім того, між елементами конструкцій може відбуватися променистий теплообмін. До $\tau = 50\text{с}$ температура газу відповідає температурі навколишнього середовища. Таким чином, зовнішній тепловий вплив на елементи конструкцій можна записати у вигляді

$$-\lambda_n \partial T / \partial n|_n = \alpha_r(\tau) [T_r(\tau) - T_n(\tau)] + q(\tau) - \varepsilon \sigma T_n^4,$$

де ε - ступінь чорноти зовнішньої поверхні кабелю.

Рівняння теплопровідності для кабелю з багатошаровим теплозахисним покриттям записується в загальному вигляді

$$\frac{\partial(b_m^* T)}{\partial \tau} = c_m^* \frac{\partial T}{\partial \tau} + \lambda_n \frac{\partial}{\partial \tau} \left(d_m^* \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) + w_m^*, 1, \text{М}.$$

де в разі змінних теплофізичних характеристик матеріалів шарів значення коефіцієнтів $b_m^* c_m^* d_m^*$ визначаються системою рівностей із значеннями ρ_m, c_m, λ_m

густини, теплоємності, коефіцієнта теплопровідності для m -го шару, ν - індекс системи координат ($\nu=0,1$ відповідно для плоскої та циліндричної систем).

Загальний вигляд умов на стиках з урахуванням контактних термічних опорів у фізико-хімічних перетвореннях, що супроводжуються виділенням (поглинанням) теплоти наведено в [4], де R_m - значення коефіцієнта контактного термічного опору для m -го стику; w_m - значення потужності джерела (стоку) тепла на m - ному стику.

Граничні умови на осі кабелю $-\lambda_1 \partial T_1 / \partial r = 0, r = 0$.

Як чисельний приклад досліджено температурні поля кабелів з багат шаровою ізоляцією. Аналіз результатів розрахунку температурних полів електричного кабелю типу КППТфБПТ-150 з мідними СПЖ і комбінованою теплоізоляцією показує, що незначне збільшення одного шару теплоізоляції зменшує тепло-напруженість теплової ізоляції електричного кабелю.

Висновок. Запропоновані алгоритми дають змогу розрахувати нестационарний теплообмін у кабелі незалежно від типу контактів між матеріалами шарів, виду граничних умов на зовнішній межі, кількості шарів теплоізоляції, законів завдання коефіцієнта тепловіддачі, потужності джерел тепла всередині матеріалів шарів і на стиках, коефіцієнтів контактного термічного опору.

Література

1. Белый, Н.И. Математическое моделирование и расчет тепловых режимов вакуумных выключателей [Текст] / Н.И. Белый, В.Б.Веселовский, А.В. Островская, В.И. Ляшенко // Тепломассообмен - Тепломассообмен в энергетических устройствах. - Т. 10. - Минск: ИТМО НАН Беларуси, 2000. С. 73-77.
2. Белый, Н.И. Математическое моделирование разрушения опор и проводов ЛЭП при экстремальных климатических воздействиях [Текст] / Н.И. Белый, В.Б. Веселовский, Д.И. Дудченко, В.И. Ляшенко // Комп'ютерне моделювання: Тез. доповідей Міждержавної науково-методичної конференції. Дніпродзержинськ: Дніпродзержинський держ. техн. ун-т, 2000. С. 75-76.
3. Белый, Н.И. Математическое моделирование гололедоизморозевых отложений на ЛЭП и элементах конструкций [Текст] / Н.И. Белый, В.Б.Веселовский, А.И.Демчик, В.И. Ляшенко // Комп'ютерне моделювання: Тез. доповідей Міждержавної науково-методичної конференції. Дніпродзержинськ: Дніпродзерж. держ. техн. ун-т, 2000. С. 73-74.
4. Веселовский, В.Б. Контактное термическое сопротивление в элементах конструкций [Текст] / В.Б.Веселовский, А.В.Островская, Н.И.Белый, В.И. Ляшенко // Тепломассообмен - Теплопроводность и задачи оптимизации. Т.3. (IV-й Минский международный форум по тепломассообмену). Минск: Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, 2000. С.91-98.
5. Раховский, В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме [Текст] / В.И. Раховский. К.: Наук.думка, 1970. 175 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ ПОШТОВОГО ДЕПО

Малий Я.С. – аспірант, varikmaly2899@ukr.net

Шведчикова І.О. – д.т.н., проф., shvedchykova.io@knutd.edu.ua

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, Київ

CHARACTERISTICS OF THE ELECTRICAL LOADS OF THE STORAGE ROOM OF THE POSTAL DEPOT

Malyi Ya. – postgraduate student, varikmaly2899@ukr.net

Shvedchikova I. – Doctor of Technical Sciences, Professor, shvedchykova.io@knutd.edu.ua

Kyiv National University of Technology and Design
Ukraine, Kyiv

Abstract. *An analytical review of the logistics postal depot is presented. The existing ones are analyzed and structured classification features. Weight indicators are set priorities. Current trends are analyzed. This approach ensures the reliability, efficiency, and productivity of warehouse functioning. Implementation of renewable energy sources at production enterprises for various purposes is proposed. The search for options for alternative power supplies for warehouses is becoming especially relevant during martial law, in conditions of uncertainty, when they carry additional security risks.*

Keywords: *renewable energy sources, postal depot premises, load, types of depots*

Актуальність дослідження. В сучасних умовах відбувається перехід до впровадження відновлених джерел енергії (ВДЕ) на виробничих підприємствах різного призначення для забезпечення більш екологічних та безпечних умов їх роботи. Різновидом виробничих підприємств, розташованих біля транспортно-логістичних центрів, є складські хаби (приміщення). Поточний стан функціонування таких об'єктів обумовлює зростання трудовитрат та вартості робочих процесів через зростання цін на енергоносії та перебої в електропостачанні [1]. Тому пошук варіантів альтернативного електроживлення складських приміщень є актуальною задачею.

Метою роботи є визначення типового профілю електричних навантажень складського приміщення поштового депо. Обґрунтування профілю навантажень є важливим етапом для вибору джерел генерації для альтернативного електроживлення.

В Україні прийнята міжнародна класифікація складських приміщень [2]. Всі складські приміщення за рівнем досконалості поділяються на 6 класів (А+, А, В+, В, С, D). На сьогодні найбільш затребуваними є складські приміщення класу А+. Це обумовлено тим, що даним приміщенням притаманні поліпшенні технічні характеристики.

Електричні навантаження будемо розглядати на прикладі складського приміщення логістичного центру АТ «Укрпошта» м. Чернігів. Приміщення центру відноситься до категорії А+, що означає дотримання високих стандартів безпеки. Депо розташоване біля залізничної під'їзної колії, має закриту територію з доступом тільки для персоналу. До критичних споживачів належать: сортувальне обладнання, електричне обладнання інженерного відділу, пожежні системи, відеонагляд та охорона, аварійне освітлення [1]. На рис. 1 та рис. 2 наведені графіки електричних навантажень складського приміщення за сезонами: рис. 1 – осінньо-зимовий період, рис. 2 – весняно-літній період, відповідно.

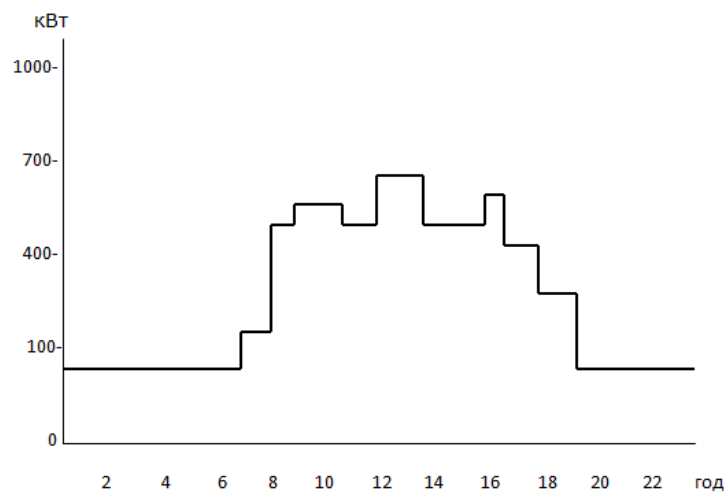


Рисунок 1 – Графік навантаження для осінньо-зимового періоду

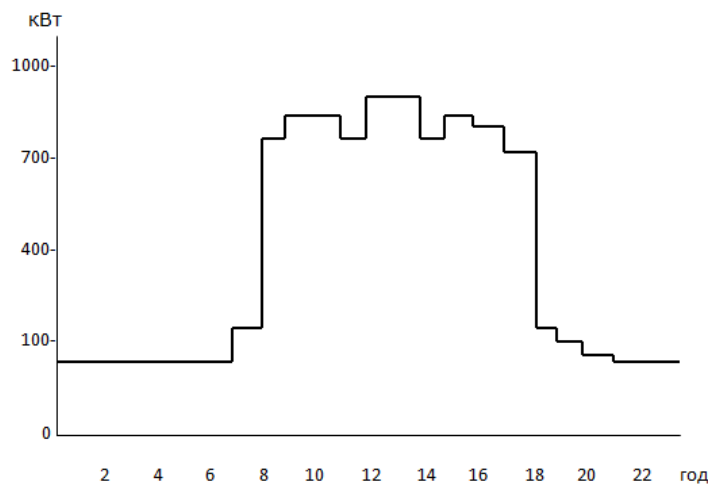


Рисунок 2 – Графік навантаження для весняно-літнього періоду

Як свідчать рис.1 та рис.2, пікове навантаження у весняно-літній період складає 904 кВт, при тому що у осінньо-зимовий період пікове навантаження становить 745 кВт. Як можна бачити з наведених рисунків, електроспоживання в період осінньо-зимового сезону значно менше у порівнянні з весняно-літнім періодом. Це пояснюється тим, що взимку впроваджуються заходи, спрямовані

на економію споживання електроенергії. Економія електроспоживання у зимовий період на технологічний процес не впливає, а впливає виключно на додаткові потреби.

Висновок. В результаті проведеного аналізу визначено навантаження складського приміщення на прикладі логістичного центру АТ «Укрпошта» м. Чернігів. Показано, що мають місце суттєві відмінності в об'ємах споживання електроенергії за сезонами. Зменшення споживання в осінньо-зимовий період є штучним та обумовлено вжиттям заходів з економії енергоресурсів. Подальший аналіз та узагальнення інформації стосовно енергоспоживання складського хабу дозволить обирати раціональні параметри генеруючого обладнання при переході до впровадження ВДЕ в межах концепції «зеленого складського хабу».

Л і т е р а т у р а

1. Укрпошта. Нормативна база. Режим доступу: <https://www.ukrposhta.ua/ua/normatyvna-baza>
2. Хімічева Г., Білашов К. Обґрунтування вибору та ефективності застосування логістичних хабів за класифікаційними ознаками. Науковий огляд. 2024. № 3(95). DOI 10.26886/2311-4517.3(95)2024.2.

ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Мотрунич І.В. – провідний науковий співробітник, ira2049@ukr.net

Київська міська державна адміністрація
Комунальна науково-дослідна установа «Науково-дослідний
інститут соціально-економічного розвитку міста»
Україна м. Київ

RENEWABLE ENERGY IN UKRAINE'S TRANSPORT INFRASTRUCTURE UNDER MODERN CONDITIONS

Motrunych I.V. – Senior Research Fellow, ira2049@ukr.net

Municipal Research Institution «Research Institute
for Socio-Economic Urban Development»
Ukraine, Kyiv

Abstract. This paper addresses the integration of renewable energy into Ukraine's transport infrastructure as a critical component for sustainable development under modern conditions. Given the global shift toward renewable energy sources, the study emphasizes the significance of green technologies in reducing Ukraine's dependence on fossil fuels and aligning with international climate commitments. Key focus areas include the development of solar, wind, and bioenergy sources to power electric vehicles, charging stations, and public transport systems. The paper highlights the economic and environmental benefits of incorporating renewable energy, such as lowering greenhouse gas emissions, reducing air pollution in urban areas, and enhancing energy security. Additionally, the study examines the challenges faced in implementing these technologies, including limited funding, infrastructural constraints, and regulatory hurdles. The findings suggest that successful adoption requires substantial support from both governmental and private sectors, as well as strategic collaboration with international partners. Policy recommendations include expanding electric vehicle charging networks, incentivizing private investment, and introducing tax benefits for eco-friendly technologies.

Keywords: Renewable energy, transport infrastructure, Ukraine, sustainable development, electric vehicles, public transport, energy security, environmental benefits, green technologies, policy recommendations

Актуальність дослідження. В умовах глобального переходу на відновлювані джерела енергії питання інтеграції «зеленої» енергетики у транспортну інфраструктуру України є особливо важливим. Використання відновлюваних джерел у транспорті не лише знижує залежність України від імпорту викопного палива, але й сприяє зменшенню викидів парникових газів, що є відповіддю на кліматичні виклики. Крім того, перехід на екологічно чисті джерела енергії відповідає цілям сталого розвитку та міжнародним зобов'язанням України щодо кліматичних змін. В умовах війни та економічної нестабільності використання відновлюваної енергетики також сприяє зміцненню енергетичної безпеки. Зокрема, електричний транспорт, що працює

на відновлювальних джерелах, може забезпечити безперервність роботи навіть у кризових ситуаціях, коли поставки пального порушені. Зміцнення енергетичної безпеки в умовах війни, перехід на екологічно чисті джерела енергії є необхідним кроком для економічної та екологічної стабільності країни.

Метою дослідження є аналіз можливостей і перспектив впровадження відновлюваної енергетики у транспортну інфраструктуру України, оцінка її економічних та екологічних переваг, а також виявлення основних перешкод на шляху реалізації «зелених» проектів у транспортному секторі. Робота передбачає визначення ключових напрямів для розвитку інфраструктури відновлюваної енергетики у транспорті, зокрема через створення мережі зарядних станцій, розвиток електротранспорту та запровадження технологій, що базуються на використанні альтернативних джерел енергії.

Необхідність впровадження відновлювальної енергетики в транспортній інфраструктурі. Використання відновлюваних джерел енергії у транспортному секторі є важливим кроком до енергетичної незалежності та відповідає цілям сталого розвитку країни. Відновлювана енергетика є одним із головних напрямків, які активно розвиваються в країнах Європейського Союзу, тому для України це також шанс інтегруватися у європейське енергетичне співтовариство. Окрім того, з огляду на безпекові ризики в умовах війни, а також кліматичні ризики та погіршення екологічної ситуації в містах, запровадження відновлюваних джерел енергії є необхідним кроком для створення комфортного середовища для життя населення.

Основні джерела відновлювальної енергії в Україні: Україна володіє значним потенціалом для розвитку відновлюваної енергетики, зокрема сонячної, вітрової та біоенергетики, що можна використовувати у транспортній інфраструктурі для живлення електротранспорту та зарядних станцій для електромобілів [1]. Сонячна енергія є перспективною для південних регіонів України, тоді як вітрова енергія може активно використовуватися на узбережжях та у степових зонах. Біоенергетика має потенціал завдяки наявності сільськогосподарських відходів, які можуть використовуватися для виробництва біопалива, що підходить для громадського транспорту. Енергія цих джерел може забезпечувати електротранспорт, зарядні станції для електромобілів, а також використовуватися у виробничих процесах транспортної інфраструктури, що сприятиме економії ресурсів та скороченню викидів у навколишнє середовище.

Зарядні станції для електротранспорту: Розширення мережі зарядних станцій для електротранспорту сприятиме розвитку електромобільності в Україні та зниженню викидів парникових газів. Впровадження таких об'єктів можливе через підтримку державою та інвестиції міжнародних фінансових організацій [2]. Розширення мережі зарядних станцій є ключовою умовою для

розвитку електротранспорту, що знижує викиди CO₂ та залежність від нафти. Міжнародний досвід свідчить про те, що державна підтримка, наприклад, у вигляді податкових пільг для власників електротранспорту та інвестицій у зарядну інфраструктуру, є дієвим кроком для розширення цього сектору. В Україні це можливо за рахунок державної підтримки та залучення інвестицій міжнародних фінансових організацій, таких як Світовий банк, Європейський банк реконструкції та розвитку (EBRD), які вже активно підтримують проекти енергоефективності в Україні.

Переваги використання відновлювальних джерел енергії в транспорті.

Використання відновлювальної енергії знижує витрати на енергію, стабілізує тарифи та сприяє покращенню екологічної ситуації, зокрема зниженню рівня забруднення повітря в містах [3]. А також використання відновлювальної енергії в транспорті приносить низку економічних та екологічних переваг. По-перше, це дозволяє знижувати витрати на енергію та стабілізувати тарифи на транспортні послуги. По-друге, відновлювальна енергія сприяє покращенню якості повітря в містах, знижуючи рівень забруднення. Цей аспект є особливо важливим для великих міст, таких як Київ, Харків, Одеса, де підвищена концентрація транспорту призводить до надмірних викидів шкідливих речовин. Окрім того, розвиток інфраструктури відновлюваної енергетики створює нові робочі місця та сприяє технологічному розвитку країни.

Перешкоди для розвитку "зеленої" транспортної інфраструктури.

Основними викликами є недосконала інфраструктура, обмеженість державного фінансування та відсутність чіткої політики щодо впровадження відновлюваної енергетики у транспортному секторі [4]. Важливим аспектом також є недостатність правових механізмів для стимулювання приватних інвестицій у "зелену" енергетику. У транспортному секторі бракує конкретних програм підтримки, які б дозволили швидше інтегрувати відновлювальні джерела енергії, а обмеженість ресурсів гальмує швидкість розгортання зарядних станцій та електротранспорту. Крім того, існує ризик низької обізнаності громадян щодо переваг «зеленого» транспорту», що також може бути перешкодою для успішної реалізації проектів.

Рекомендації для реалізації проєктів відновлювальної енергетики в транспорті. Створення державних програм, які передбачають податкові пільги для інвесторів та стимулювання інфраструктурних проєктів, що базуються на «зеленій» енергетиці, таких як будівництво зарядних станцій для електромобілів та використання біопалива в громадському транспорті [5].

Запровадження державних програм для стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику є необхідним для розбудови інфраструктури зарядних станцій та розвитку електротранспорту. Також важливими є податкові пільги та

субсидії для інвесторів, що сприятиме залученню приватного капіталу. Доцільним є створення програм пільгових кредитів для підприємств, які займаються розробкою екологічних транспортних рішень. Співпраця з міжнародними партнерами, такими як Європейський банк реконструкції та розвитку та Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (IRENA), дозволить залучити фінансування на розбудову «зеленої» інфраструктури.

Висновок. Дослідження показує, що інтеграція відновлювальної енергетики у транспортну інфраструктуру України є реальним і необхідним кроком для забезпечення енергоефективності та екологічності транспортного сектору. Розвиток сонячної, вітрової та біоенергетики дозволить Україні досягти значних результатів у зниженні викидів, покращенні якості повітря та скороченні залежності від імпортованих енергоносіїв. Підтримка державою проектів екологічних технологій, розвиток зарядної інфраструктури та залучення міжнародних інвестицій сприятимуть прискоренню переходу до «зеленої» транспортної системи та підвищенню конкурентоспроможності України в міжнародній спільноті.

Л і т е р а т у р а

1. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України 2020 р. *Енергетична стратегія України до 2035 року*. Київ: Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України с. 12-35. Режим доступу: www.sae.gov.ua.
2. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) 2021. *Green Cities Program: Urban Sustainability and Clean Transport Solutions*. Лондон: Європейський банк реконструкції та розвитку с. 22-46. Режим доступу: : www.ebrd.com.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA) 2021. *Renewable Energy and Jobs – Annual Review*. Абу-Дабі: International Renewable Energy Agency. с. 5-28.
4. Міністерство енергетики України 2020 р. *Національна стратегія розвитку відновлювальної енергетики до 2035 року*. Київ: Міністерство енергетики України с. 14-42.
5. European Union 2022. *EU Energy and Green Deal for Clean Transport*. Брюссель: Європейський Союз с. 7-29. Режим доступу: www.europa.eu.

ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

Оберемок Д.О. – аспірант, *dimaoberemok1992@gmail.com*
Державний біотехнологічний університет
Україна, м. Харків

PROSPECTS OF THE INTEGRATION OF SOLAR POWER PLANTS AND ENERGY STORAGE SYSTEM IN ELECTRIC NETWORKS

Oberemok D.O. – graduate student, *dimaoberemok1992@gmail.com*
State Biotechnological University
Ukraine, Kharkiv

Abstract. *The paper analyzes the possibility of integrating solar power plants and energy storage systems into the existing energy system. Currently, renewable energy sources are widely used in the world. One of the types of power plants is solar. The absence of harmful emissions, noise and negative impact on the environment are the main advantages of photovoltaic cells, a source of conversion of solar energy into electricity. The disadvantages are the dependence of generation on climatic conditions and time of day. To compensate for these features, it is advisable to use solar power plants together with energy storage systems based on batteries.*

Keywords: *solar panel, energy storage system, batteries, generation, stability of the energy system*

Актуальність дослідження полягає у проблемі формування сценаріїв перспективного розвитку електричних мереж, перспективи інтеграцій новітніх технологій та оптимізацію роботи об'єднаної енергетичної системи.

Метою роботи є аналіз можливості інтеграції сонячних електростанцій та систем зберігання енергії в електричні мережі.

Пошук та створення нових джерел електричної енергії зумовлена постійним зростанням споживання та нерівномірністю розподілу за часом та за місцем розташування споживачів електричної енергії.

Рівні споживання електроенергії впродовж доби, місяця або року не є сталими, а генерація на електростанціях які працюють на твердому паливі (ТЕС, АЕС) не мають можливості постійно змінювати свої потужності. Зміни режиму роботи генераторів ТЕС і АЕС негативно впливає на ресурс та собівартість обладнання станцій. В цей час генерація сонячних та вітрових електростанцій залежить від погодних умов та часу доби, і не завжди співпадає з попитом споживачів. Тому моделювання розвитку генеруючих потужностей та аналіз сценаріїв розвитку попиту та пропозиції електричної енергії повинні, зокрема, урахувати:

- вплив заходів з енергоефективності та потенціал управління попитом, розвиток технологій збереження енергії;

- вплив складнопрогнозованих технологій виробництва електричної енергії (ВЕС та СЕС) та необхідність забезпечення достатності резервних потужностей для компенсації коливань виробітку електричної енергії такими технологіями. [1]

Відновлювальні джерела електроенергії на даний час не здатні повністю замінити собою електростанції на твердому паливі. Тому актуальним питанням зараз є системи накопичення електричної енергії. Крім класичних методів збереження електроенергії (гідроакumuлюючі станції, гідроелектростанції) активний розвиток мають системи для збереження електричної енергії, створені на базі акумуляторних батарей – акумуляторні системи накопичення енергії (ACHE) (Battery energy storage system, BESS). Найбільша користь акумуляторних систем полягає у миттєвій зміні своєї потужності від 0 до номінальної, що позитивно впливає на стійкість електричних мереж при ненормальних режимах роботи. Також маневреність акумуляторних систем може використовуватися для підтримання сталої частоти електричної мережі або для регулювання напруги у споживачів, віддалених від джерела генерації.

Актуальним питанням є використання сонячних панелей та акумуляторних систем для створення автономних систем при якому надлишок сонячної енергії в часи мінімального споживання буде зберігатися в акумуляторних батареях, а у часи пікового навантаження – генерувати в мережу.

Є зразки працюючих систем накопичення електроенергії, створені на базі акумуляторних батарей від компанії Tesla, потужністю 100 MВт та ємністю $129\text{ MВт}\cdot\text{год}$, які накопичують електроенергію та генерують її в години пікових навантажень, сприяючи стабілізації роботи та зменшення навантаження на електричну мережу [2].

В Україні перша система накопичення енергії запрацювала в 2021 році в м. Енергодар потужністю 1 MВт та ємністю $2,25\text{ MВт}\cdot\text{год}$, а вже в 2025 році в Україні планується встановлення систем, загальною потужністю 200 MВт . [3] Ці системи будуть використовуватися для балансування енергетичної системи та живлення критичних споживачів.

У системах зберігання енергії відсутні важкі елементи такі як: статори та ротори генераторів, обмотки силових трансформаторів. Батареї мають достатньо компактні розміри, що дає можливість встановлювати їх під землею, в захищених спорудах.

Висновок. В результаті проведеного аналізу зроблено висновок, що системи зберігання енергії та сонячні електростанції мають достатній потенціал для їх використання в електричних мережах, що призведе до вагомого внеску у стійкість електричної мережі та сталого електропостачання споживачів.

Л і т е р а т у р а

1. Кодекс системи передачі [Електронний ресурс]:[\[https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text\]](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0309874-18#Text).
2. Introducing Megapack: Utility-Scale Energy Storage [Електронний ресурс] :
[\[https://www.tesla.com/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage?redirect=no\]](https://www.tesla.com/blog/introducing-megapack-utility-scale-energy-storage?redirect=no)
3. ДТЕК інвестує €140 млн в установки зберігання енергії для посилення енергетичної безпеки України [Електронний ресурс]: [\[https://dtek.com/media-center/news/dtek-to-invest-140-million-in-energy-storage-systems-to-strengthen-ukraines-energy-secur/\]](https://dtek.com/media-center/news/dtek-to-invest-140-million-in-energy-storage-systems-to-strengthen-ukraines-energy-secur/)

ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ УКРАЇНИ

Пічкур Т.В. – к.і.н., доц., pt1993@ukr.net

Висоцька Т.І. – к.х.н., доц., vusocka_ti@gsuite.duit.edu.ua

Пронько А.С. – бакалаврант, pronko_as@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

HELIOENERHETYCHNYY POTENTIAL UKRAYINY

Pichkur T.V. – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, pt1993@ukr.net

Vusocka T.I. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
vusocka_ti@gsuite.duit.edu.ua

Pronko A.S. – bachelor's student, pronko_as@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. Abstract: the idea of the state's energy potential is associated with powerful thermal power plants (TES), hydroelectric power plants (HEP), nuclear power plants (NPP), long-distance heat networks, high-voltage power transmission lines, powerful transformer stations, etc. Nowadays, there is a large number of local heat and electricity generation systems scattered across the country. These energy-generating sources belong to a separate branch of industry with its products in the form of heat and electricity and constitute the Small Energy Industry of Ukraine.

Keywords: electricity, solar energy, power plant, power equipment, sun

Актуальність дослідження визначається сучасним станом енергетики країни та необхідністю створення економічних умов для впровадження заходів екологізації в енергозбереження країни.

Метою роботи є аналіз геліоенергетичного потенціалу України, який розглядається як головне джерело малої енергетики країни.

Швидкий розвиток сонячної (геліоцентричної) енергетики дає змогу вважати, що ХХІ ст. стане століттям сонячної енергії. Це підтверджується також довгостроковими прогнозами розвитку геліоенергетики. Так, вже сьогодні, загальна потужність геліоцентричних станцій країн Європи становить 41,4 ГВт., що істотно впливає на зменшення витрат нафти і газу, і таким чином зменшити залежність від експорту палива з росії, а також використання сонячної енергії дозволило стабілізувати викиди CO₂ в європейському регіоні на рівні 1992 року.

Розвиток сонячної енергетики відбувається у двох напрямках:

1. Фотоелектричний – вловлюється електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця і перетворюється в електричну енергію постійного току;

2. Термодинамічний – сонячна енергія концентрується у котлі, пара з якого надходить до турбіни з генератором.

При створенні геліоцентричного обладнання необхідно враховувати геліотехнічні можливості, що передбачають кількісну характеристику потоків сонячного випромінювання і можливість їх використання для роботи різних типів сонячних батарей.

Характер рельєфу та особливості атмосферних умов визначають фактичний радіаційний режим, який потрібно враховувати під час вибору та проектуванні геліотехнічного обладнання. Радіаційний режим території України, особливо її південних районів, загалом є сприятливим для практичного використання сонячної енергії [1].

Для переважно більшої частини території України характерна середня інтенсивністю сонячної радіації. Для визначення найбільшої доцільності розміщення геліоенергетичного устаткування залежно від метеорологічних зон країни було проведено статистичну оцінку кліматичних умов, яка дозволила отримати інформацію про енергетичну доцільність використання енергії Сонця протягом року.

У реальних умовах хмарності річний прихід сумарної сонячної радіації з Півночі на Південь становить 1050 - 1400 кВт.ч/м². При цьому відсоток розсіяної радіації становитиме 40 - 50%.

Відсоток прямої сонячної радіації змінюється протягом року. У період з листопада по лютий вона становить 20 - 40%, з березня по жовтень – 40 - 65%, на південному березі Криму в літні місяці становить до 65 - 70%.

На добовий перебіг сонячної радіації впливає прозорість атмосфери. Як правило, влітку в першу половину дня атмосфера прозоріша. Інтенсивність та загальна кількість годин прямої та розсіяної сонячної радіації в літні місяці вранці більше на 3 - 4%, ніж у відповідний по висоті Сонця вечірні години.

Найбільша кількість годин сонячного світла (2300 - 2400) спостерігається у Криму та на узбережжі Чорного та Азовського морів. У степовій Україні довжина сонячного світла за рік становить 2000 - 2200 годин. У напрямку Полісся та на сході України тривалість сонячного світла зменшується до 1740 - 1840 годин, у низинах Закарпатської області кількість годин сонячного світла досягає 2025 годин у рік. Найбільш сонячні місяці це травень – серпень, найменше сонця у листопаді – лютому [2].

Для загальної оцінки ресурсів сонячної енергії всю територію України можна умовно розбити на чотири зони. Перша зона характеризується річною

сумою сонячної радіації меншою за 1100 кВт.год./м², друга – 1100 - 1200 кВт.год./м², третя – 1200 - 1300 кВт.ч./м², четверта – 1300 - 1400 кВт.ч./м²

У таблиці 1 представлені середньомісячні та середньорічні суми прямої (I), розсіяної (II) та прямої + розсіяної (III) сонячної радіації, яка потрапляє на горизонтальну поверхню у різних кліматичних зонах України.

Таблиця 1 – Середньомісячні та середньорічні суми прямої (I), розсіяної (II) та прямої + розсіяної (III) радіації на горизонтальну поверхню, в різних кліматичних зонах України, кВт.год./м²

Місяці		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
I зона Чернігів	I	6,5	13,4	30,7	51,3	80	90	81,8	73,5	48,6	20,5	4,5	2,8	503,6
	II	18,6	29,4	47,4	60,3	80	81	84,6	68,8	47,7	31,6	15,3	12,1	576,8
	III	25,1	42,8	78,1	111	160	171	166	142	96,3	52,1	19,8	14,9	1080,4
II зона Київ	I	6,9	15,0	37,4	50,7	81,7	98,9	95,5	80,8	55,8	29,8	7,3	4,6	564,4
	II	19,8	26,7	47,9	63	79,6	82,1	80,8	66,9	8,6	33	17,4	13,8	579,6
	III	26,7	41,7	85,3	113	161	181	176	147	104	62,8	24,7	18,4	1144
III зона Одеса	I	7,1	14,3	40,1	74,1	113	127	140	118	82,5	36,8	12,7	6,1	771,4
	II	19,4	26,9	48,6	60,8	69,9	68,7	65	54,9	43,7	36,1	17,1	15,8	526,9
	III	26,5	41,2	88,7	134	181	196	205	173	126	72,9	29,8	21,9	1298,3
IV зона Євпаторія	I	14,6	21,4	47,9	77,7	96,7	123	145	123	86,7	59,3	21,5	107	925,?
	II	31,1	30,8	39,7	59,5	73	70,4	65,7	56,4	49,1	38,8	27,8	20,6	562,9
	III	45,7	52,2	87,6	137	169	193	211	179	135	98,1	49,3	31,3	1390,8

Висновок. Як видно з таблиці, енергією сонячної радіації можна використовувати на всій території України, а розвиток геліоенергетичного потенціалу України є стратегічно важливим напрямком незалежності нашої держави.

Л і т е р а т у р а

1. *Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. Київ: «Українські енциклопедичні знання», 2019. 559 с.*
2. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТУ ЯК СТРАТЕГІЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ: РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ, КАРШЕРИНГУ ТА РОЗУМНЕ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Сімченко М.О. – бакалаврант, simchenko_mo@gsuite.duit.edu.ua
Муравйов В.М. – к.ф.-м.н., доцент, muravyov_vm@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

ENERGY EFFICIENCY OF TRANSPORT AS A STRATEGY FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION: DEVELOPMENT OF ELECTRIC TRANSPORT, CAR SHARING AND SMART PLANNING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Simchenko M.O. – bachelor's student, simchenko_mo@gsuite.duit.edu.ua
Muravyov V.M. – Ph.D., associate professor, muravyov_vm@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Kyiv, Ukraine

Abstract. *The paper analyzes energy efficiency in the transportation sector, focusing on electrification, car sharing, and smart planning.*

Keywords: *energy efficiency, transport electrification, car sharing, smart planning*

Актуальність теми. В умовах глобальної енергетичної кризи та екологічних викликів, оптимізація енергоспоживання транспортного сектору стає критично важливим завданням для сталого розвитку міст та країн.

Мета дослідження: аналіз сучасних стратегій підвищення енергоефективності транспортного сектору та визначення перспективних напрямків його розвитку.

Електрифікація транспорту є ключовим напрямком підвищення енергоефективності. За даними досліджень, середній двигун внутрішнього згоряння має паливну ефективність лише близько 40%, що означає, що 60% енергії втрачається через тепло і тертя. У той же час електродвигуни мають значно вищий коефіцієнт корисної дії (ККД), що дозволяє їм використовувати більшу частину споживаної енергії для руху [1].

Електромобілі значно енергоефективніші завдяки низькій вартості електроенергії: у середньому, витрати на 1 км складають лише 0,396 грн, що в 4-5 разів дешевше, ніж для авто на бензині чи дизелі. Це забезпечує економічність та екологічність при щоденному використанні [2].

Розвиток мережі зарядних станцій та державна підтримка електромобільності сприяють швидшому переходу на екологічний транспорт [3].

Каршеринг як модель спільного користування транспортом демонструє значний потенціал у зниженні загального енергоспоживання. Один автомобіль у системі каршерингу здатен замінити 8-10 приватних авто, що суттєво зменшує навантаження на міську інфраструктуру [4].

Розумне планування транспортної інфраструктури включає оптимізацію маршрутів громадського транспорту, створення велоінфраструктури та пішохідних зон. Впровадження інтелектуальних транспортних систем дозволяє значно знизити енергоспоживання [5].

В Україні електромобільність стрімко розвивається: кількість електрокарів зросла з 7 у 2012 році до 10 700 у 2023-му. З 2018 року скасовано податки на розмитнення електромобілів, а імпортери сплачують лише символічний акциз – 1 євро за 1 кВт батареї. Новий закон, що змінив оподаткування авто, набрав чинності 1 березня 2024 року [6].

Нові інновації, як-от Tesla Cybercab, обіцяють знизити витрати на транспорт до \$0,125/км та сприяти розвитку автономного і спільного користування автомобілями, що мінімізує навантаження на міську інфраструктуру.

Впровадження Cybercab може знизити енергоспоживання в транспортному секторі, оптимізуючи маршрути та зменшуючи викиди CO₂. Це також сприятиме розвитку каршерингу, що зменшить кількість автомобілів на дорогах. [7]

Висновок. Перехід до електромобільності, розумного планування транспортної інфраструктури та інтеграції інноваційних рішень, таких як автономні автомобілі, є важливими напрямками для підвищення енергоефективності транспорту. Комплексний підхід сприятиме зменшенню енергоспоживання, зниженню викидів CO₂ та забезпеченню сталого розвитку транспортного сектору.

Л і т е р а т у р а

1. AtlantEnergy. Порівняння електромобіля з автомобілем ДВЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://atlantenergy.com.ua/porivnyannya-elektromobilya-z-avtomobilem-dvz/>.
2. FRA. Скільки економлять власники електромобілів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://molbuk.ua/news/308598-skilky-koshtuie-1-km-dorogy-avtomobilem-na-benzyni-dyzeli-gazi-ta-elektryci.html>.
3. EDS-Engineering. Розвиток інфраструктури для електромобілів в Україні – майбутнє нашої мобільності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eds->

engineering.com/en/novosti/rozvitok-nfrastrukturi-dlya-elektromoblv-v-ukran-majbutn-nasho-moblnost.

4. Вікіпедія. Каршеринг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Каршеринг#Переваги>.

5. Tsou, K. W., Hsieh, C. M., Tseng, M. L. Smart Transportation Planning and Energy Efficiency: A Geospatial Perspective [Journal]. – *Urban Geography* (2019). – Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/24694452.2019.1643702>.

6. AutoConsulting. Новий закон про оподаткування авто в Україні: що змінилося [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=55794>. 7. StarterMedia. Tesla представила

7. Robotaxi – автономний електромобіль за \$30,000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://startermedia.com.ua/news/new/2024/10/14/tesla-predstavyla-robotaxi-avtonomnyy-elektromobil-za-30-000/>.

РЕЦИКЛІНГ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

Скосар В.Ю. – к.ф.-м.н., старш. наук. співроб., skosarslava@gmail.com

Комаров С.В. – провідн. інж., itst@westa-inter.com

Бурилов С.В. – к.ф.-м.н., пров. наук. співроб., S.Burylov@nas.gov.ua

Дзензерський В.О. – д.т.н., проф., Dzenzerskyy@nas.gov.ua

Інститут транспортних систем і технологій

Національної академії наук України

Україна, м. Дніпро

RECYCLING OF LITHIUM BATTERIES

Skosar V.Yu. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, skosarslava@gmail.com

Komarov S.V. – Lead Engineer, itst@westa-inter.com

Burylov S.V. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher,

S.Burylov@nas.gov.ua

Dzenzerskyi V.O. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dzenzerskyy@nas.gov.ua

Institute of Transport System and Technologies

of National Academy of Science of Ukraine

Ukraine, Dnipro

Abstract. *The paper analyzes the problem of recycling and disposal of used lithium batteries. Recycling of lithium batteries will allow the secondary use of such valuable metals as lithium, cobalt, nickel, manganese and others. Based on the results of the analysis, a rational technology of processing lithium batteries is proposed, which can be applied industrially and retains the potential for further improvement. Preliminary experiments have established the effectiveness of cavitation treatment of used lithium batteries with the extraction of valuable metals for subsequent hydrometallurgy.*

Keywords: *reduction of material costs, environmental friendliness, precious metals, cavitation treatment*

Літієві акумулятори широко використовуються в електромобілях, системах відновлюваної енергії, в різних гаджетах, і в перспективі знайдуть широке застосування в громадському електротранспорті. **Актуальність дослідження** зумовлена обумовлена тим, що переробка та утилізація (рециклінг) літієвих акумуляторів сприятимуть підвищенню енергоефективності у сфері електротранспорту та у всіх перерахованих областях за рахунок зниження витрат матеріалів. В літієвих акумуляторах містяться такі цінні метали, як літій, кобальт, нікель, марганець та інші, які можуть бути вилучено і повторно використано. Крім того, це сприятиме вирішенню екологічного питання, оскільки на звалищах літієві акумулятори виділяють токсичні речовини та важкі метали [1, 2].

Метою роботи є аналіз проблеми рециклінгу літієвих акумуляторів та подання попередніх результатів щодо вирішення зазначеної проблеми.

Раніше співробітниками Інституту транспортних систем і технологій НАНУ було зроблено узагальнюючий аналіз промислово застосовних технологій рециклінгу літєвих акумуляторів [3]. На підставі результатів цього аналізу можна запропонувати раціональну технологію переробки літєвих акумуляторів, яка може промислово застосовуватись та зберігає потенціал для подальшого вдосконалення (рис.).

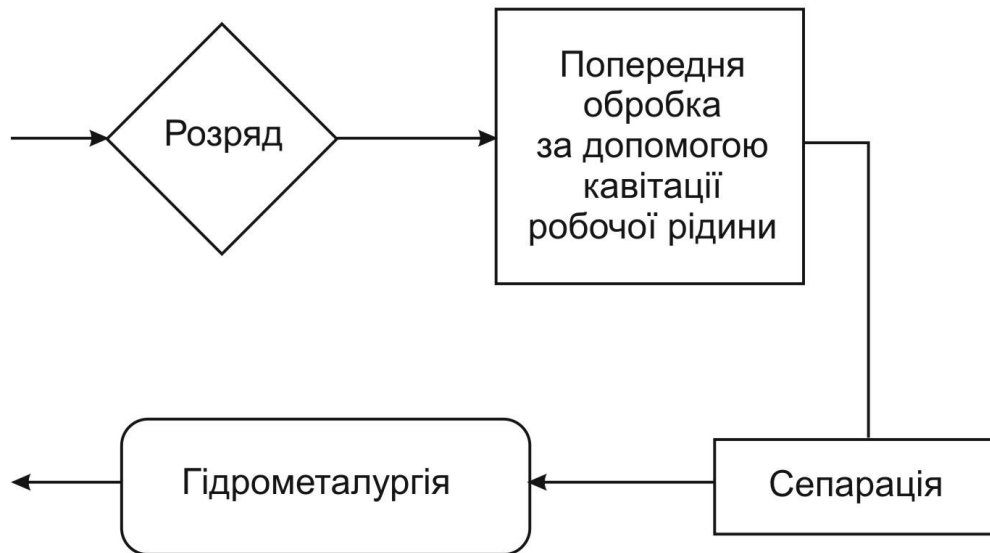


Рисунок – Схема переробки літєвих акумуляторів

Спочатку відпрацьовані літєві акумулятори і акумуляторні батареї піддають максимальному розряду з метою запобігання вибухів і займань. Потім акумулятори (акумуляторні батареї) піддають кавітаційній обробці у водних розчинах неорганічних кислот: за допомогою трубки Вентурі, або в ультразвуковому реакторі. У першому випадку гідродинамічна кавітація у трубці Вентурі генерує імпульсний тиск струменя розчину кислоти, якій направляють на акумуляторні електроди крізь отвори в корпусі акумулятора. У другому випадку акумуляторні електроди занурюють у розчин кислоти для впливу ультразвукової кавітації в реакторі. Отриману рідку суміш розчинених металів і частинок активного матеріалу піддають сепарації задля відокремлення частинок сепараторів, клею та інших матеріалів, які не містять металів. Цей продукт вже придатний для гідрометалургійного вилучення літію, кобальту, нікелю, марганцю. Основна ідея полягає в тому, що таким чином вдасться значно здешевити і спростити наступне гідрометалургійне вилучення цінних металів, яке використовує попереднє розчинення їх в кислоті. Попередні експерименти зі сильно розведеними сірчаною, соляною та азотною кислотами вказують, що при однаковій температурі 10 хвилин ультразвукової кавітаційної

обробки акумуляторних електродів забезпечують на порядок більше розчинених металів у робочій рідині, ніж 60 хвилин звичайного розчинення. Це свідчить про перспективність методу для вилучення літію, кобальту, нікелю, марганцю з відпрацьованих літієвих акумуляторів.

Висновок. В результаті проведеного аналізу та попередніх досліджень запропоновано раціональну схему переробки літієвих акумуляторів, згідно якої попередню обробку відпрацьованих акумуляторів здійснюють за допомогою кавітації у водних розчинах сильно розведених неорганічних кислот. Це дозволяє значно здешевити і спростити наступне гідрометалургійне вилучення цінних металів – літію, кобальту, нікелю, марганцю, яке використовує попереднє розчинення їх в кислоті.

Л і т е р а т у р а

1. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Gavin Harper et. al. Nature. Vol. 575, 7 November 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
2. Hyuntae Bae and Youngsik Kim. Technologies of lithium recycling from waste lithium ion batteries: a review. Materials Advances, 2021. <https://doi.org/10.1039/d1ma00216c>.
3. Скосар В.Ю., Бурилов С.В., Ворошилов О.С., Жулай Ю.О., Дзензерський В.О. Методи переробки та утилізації літієвих джерел струму. Сучасні проблеми металургії. 2022. № 25. С. 150-163. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2022.01.13>.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Скосар В.Ю. – к.ф.-м.н., с.н.с., skosarslava@gmail.com

Шкіль Ю.В. – м.н.с., svi@westa-inter.com

Інститут транспортних систем і технологій

Національної академії наук України

Україна, м. Дніпро

THE WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC TRANSPORT

Skosar V.Yu. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior scientific researcher,
skosarslava@gmail.com

Shkil Yu.V. – junior scientific researcher, svi@westa-inter.com

Institute of Transport System and Technologies

of National Academy of Science of Ukraine

Ukraine, Dnipro

Abstract. *The paper analyzes the possibilities of increasing energy efficiency and energy saving in electric transport, primarily in magnetic levitation transport, by reducing energy dissipation during movement. The technology of passive magnetic levitation over a railway track using supermagnets, as well as the technology of movement in a vacuum pipeline are considered as promising technologies. Preliminary results of the authors' developments on this problem are presented. Two variants of magnetic levitation vehicles with passive magnetic levitation are considered: a passenger train and a high-speed tram.*

Keywords: *energy dissipation, greenhouse gas emissions, passive magnetic levitation, vacuum pipeline*

Актуальність дослідження зумовлена недостатньою енергоефективністю електричного транспорту. Енергоефективність може бути підвищена на шляху зниження витрат на паливо та обмеження викиду парникових газів. Електричні мережі отримують значну частину електроенергії від ТЕС (і ТЕЦ), які використовують викопне паливо і викидають у повітря парникові гази. До початку війни (2022 р.) доля генерації від ТЕС і ТЕЦ в Україні складала 29,9 % [1], а в післявоєнний період навряд чи вдасться відмовитися від теплової генерації. Тому зниження дисипації енергії повинне призвести до бажаного результату. Крім того, вочевидь, це покращить питання енергозбереження.

Метою роботи є проведення аналізу підвищення енергоефективності та енергозбереження на електротранспорті за рахунок зниження дисипації енергії на транспортних засобах та подання попередніх результатів щодо вирішення зазначеної проблеми.

Одним із цікавих варіантів зниження дисипації енергії на залізничному транспорті є розробка італійського стартапу IronLev. Розробникам вдалося

створити дослідний зразок і провести перші випробування магнітолевітаційного транспорту, здатного левітувати над звичайним залізничним шляхом, як в спокої, так і при в процесі руху. Для цього використовують магнітні слайдери з вмонтованими постійними супермагнітами, які здатні забезпечити стійку левітацію над рейками залізничної колії (рис. 1). Це повинно значно здешевити Маглев у порівнянні з технологією Transrapid, наприклад, за рахунок виключення дорогої шляхової структури. Але, для розгону/гальмування і підтримки руху, судячи з матеріалів сайту стартапу IronLev, все ж такі потрібен спеціальний двигун [2, 3]. Поки ще не відомо, якій варіант двигуна пропонується.

У лютому 2024 р. інженерам IronLev вдалося розігнати експериментальний маглев масою одну тону до 70 км/год. Якщо випробування експериментального маглев 20 тонн на швидкості 200 км/год, які заплановано в IronLev, відбудуться успішно, то це буде свідчить на користь перспективності нової технології [2, 3].

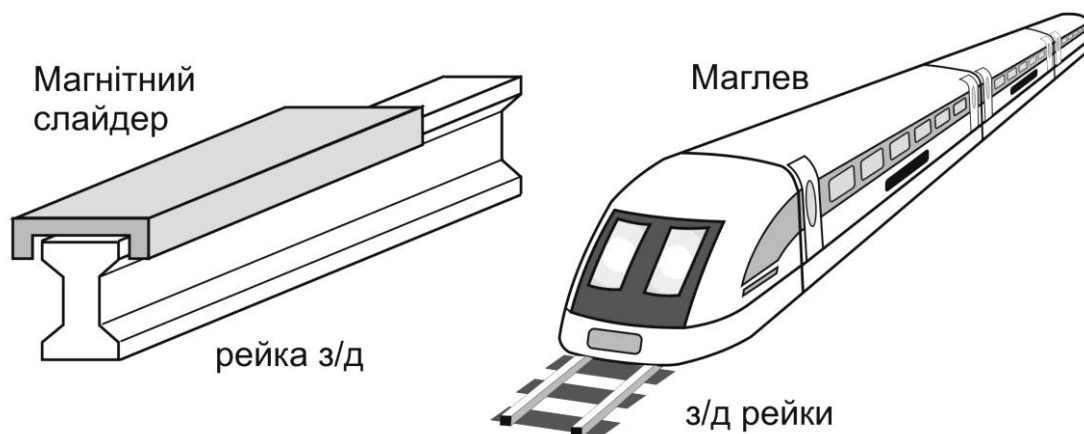


Рисунок 1 – Перспективний Маглев, згідно технології IronLev

Китайські інженери продовжують успішні розробки та випробування магнітолевітаційного транспорту у вакуумній трубі (аналог Hyperloop) (рис. 2).

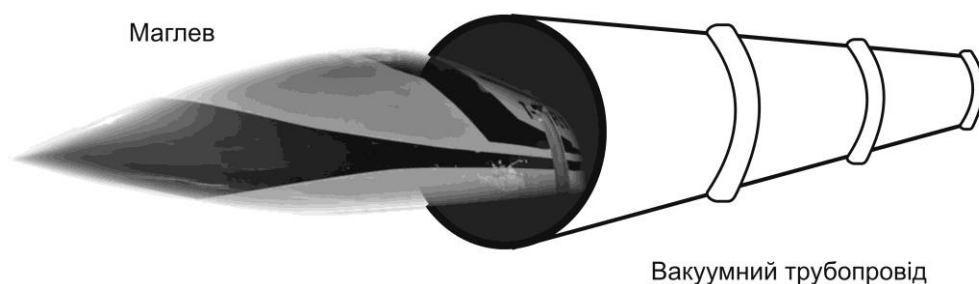


Рисунок 2 – Маглев у вакуумній трубі

За рахунок мінімізації опору повітря Маглев у вакуумній трубі дозволить суттєво знизити дисипацію енергії за високих швидкостей руху. У лютому 2024 р. ЗМІ повідомили, що прототип китайського Маглев у вакуумному трубопроводі розігнався до 623 км/год [4].

Деякі результати досліджень співробітників Інституту транспортних систем і технологій (Інститут) у сфері Маглев, у тому числі, Маглев у вакуумному трубопроводі, раніше були викладені в [5-7]. Зокрема, розглянуті питання електричної тяги, магнітного підвісу, бортового електропостачання, мінімізації аеродинамічного опору, енергопостачання всієї системи від відновлюваних джерел енергії. На даний момент в Інституті ведуться дослідження щодо створення системи «пасивної» магнітної левітації на супермагнітах, за аналогією з проектом IronLev, вивчаються можливості її застосування на залізницях і трамвайних коліях України. Зокрема, розглядається два варіанта: а) електровоз забезпечує тягу 15-30 легких пасажирських вагонів до 20 тонн кожен, які здатні до магнітної левітації над залізничними коліями; один тяговий вагончик забезпечує тягу трьох легких трамвайних вагонів до 10 тонн кожен, які здатні до магнітної левітації над трамвайними коліями швидкісного трамвайного маршруту. Завдяки магнітної левітації опір руху вагонів буде мінімальним. Оскільки технологія забезпечує левітацію навіть в стані відсутності руху, то на зупинках не потрібні додаткові механічні колеса для утримання ваги вагонів, як це використовують японський та південнокорейський Маглев, які працюють на технології електродинамічного підвісу.

Технологія магнітної левітації IronLev по суті нам не відома, це є «know how» італійської фірми (рис. 3, а, ліворуч). Запропонована нами система «пасивної» магнітної левітації виглядає так, як зображено на рис. 3, б (праворуч).

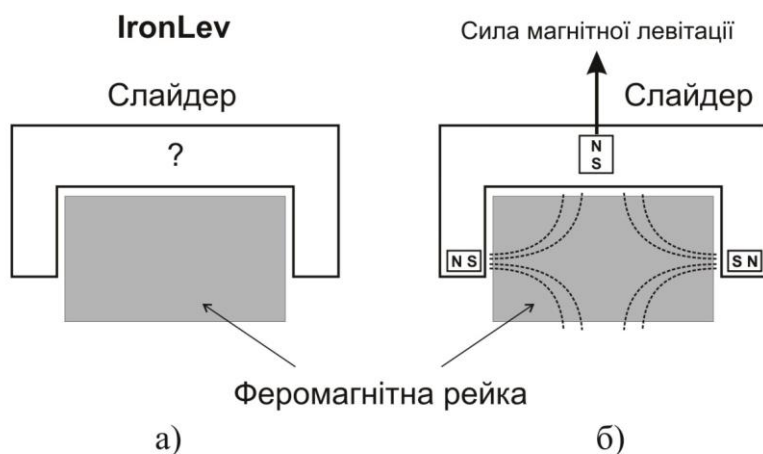


Рисунок 3 – Система пасивної магнітної левітації

Суть нашої розробки: на феромагнітну рейку зверху починають одягати слайдер транспортного засобу, в якому встановлені два бічних супермагніти з полюсами, орієнтованими таким чином, що однакові полюси направлено на рейку. Це створює магнітне поле, силові лінії якого (пунктирні лінії) направлені приблизно так, як вказано на рис 3, б (праворуч). Тобто, феромагнітна рейка намагнічується відповідним чином. Крім того, у слайдері у верхній частині встановлено супермагніт з полюсами, орієнтованими на відштовхування від магнітного поля рейки (рис 3, б праворуч). Тому, коли слайдер вже достатньо одягнуто на рейку, виникає ефект магнітного відштовхування слайдера від рейки. При цьому магнітне поле верхнього супермагніта не повинне перевищувати певної величини, щоб не перемагнітити рейку, інакше левітація зникне. Як показують попередні розрахунки та експеримент, у вертикальному напрямку ефект відштовхування слайдера від рейки стійкий, а бічне становище слайдера нестійке, тому необхідні бічні колеса для стабілізації слайдера. Однак, навантаження на бічні колеса і відповідна сила тертя будуть значно меншими, ніж навантаження на колеса звичайного потягу і відповідна сила тертя, оскільки в останньому випадку навантаження визначено вагою вагона.

Висновок. В результаті проведеного аналізу і попередніх досліджень встановлена можливість суттєвого зниження дисипації енергії на магнітолевітаційних транспортних засобах. По-перше, це пасажирський потяг, або швидкісний трамвай по технології пасивної магнітної левітації на супермагнітах, які здатні до левітації над звичайними залізничними (трамвайними) коліями. По-друге, це Маглев поїзд у вакуумному трубопроводі. Ефект пасивної магнітної левітації над звичайною залізничною рейкою може бути досягнуто за рахунок використання схеми розташування трьох супермагнітів в слайдері, як вказано на рис. 3, б (праворуч).

Л і т е р а т у р а

1. Як Україна виробляла електроенергію до повномасштабної війни (4 червня 2024). [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2024/06/04/infografika/ekonomika/yak-ukrayina-vyroblyala-elektroenerhiyu-rovnomasshtabnoyi-vijny> (дата звернення 28.10.2024) Назва з екрана.
2. Шевченко Н. Італійський стартап IronLev випробував потяг на магнітній подушці на звичайній залізниці (15.03.2024). [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://tokar.ua/read/96685/lowcost-passive-maglev-upgrade-tested-on-regular-rail-tracks> (дата звернення 28.10.2024) Назва з екрана.
3. Magnetic Levitation Made Simple And Affordable: A Revolutionary View On The Future Of Transportation. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.ironlev.com/transport> (дата звернення 28.10.2024) Назва з екрана.
4. China claims new speed record with vacuum-tube maglev train (27 February 2024). [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://ukranews.com/en/news/983137-china->

claims-new-speed-record-with-vacuum-tube-maglev-train (дата звернення 28.10.2024)
Назва з екрана.

5. Дзензерський В. О., Плаксін С. В., Толдаєв В. Г., Шкіль Ю. В. Інтеграція магнітолевітаційної магістралі та розподіленої сонячної електростанції (рос. мовою). Київ: Наукова думка. 2019. 244 с.

6. Геєць В.М., Волошин О.І., Дзензерський В.О., Никифрук О.І. Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління: монографія. НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України»; Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України; Інститут транспортних систем і технологій НАН України. Київ, 2020. 254 с.

7. Skosar V.Y., Burylov S.V., Dzenzerskyi V.O. Some Problems of Ultra-High-Speed Transportation Technologies. Science and Transport Progress, 2(102), 5–16. 2023. <https://doi.org/10.15802/stp2023/288073>.

ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Сорочинська О.Л. – к.і.н., доц., ellena06.84@ukr.net
Малишева К.Д. – бакалаврант, malysheva_kd@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

DECARBONIZATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT INDUSTRY

Sorochynska O.L. – Ph.D., associate professor, ellena06.84@ukr.net
Malysheva K.D. – bachelor's student, malysheva_kd@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. Decarbonization of the transport industry is one of the most important priorities on the way to sustainable development. Global decarbonization trends indicate that many countries are taking measures to reduce their dependence on carbon, greening production activities, and transitioning to sustainable development. The work examines the problems and prospects of decarbonization of the transport industry as a necessary prerequisite for ensuring a climate-neutral future. The impact of growing greenhouse gas emissions on climate change is analyzed and the need to implement urgent measures to reduce emissions of CO₂ and other harmful substances into the atmosphere is substantiated. Modern approaches and initiatives aimed at decarbonization are studied, such as: the use of renewable energy sources, the introduction of "green" technologies in industry, energy efficiency projects, and others.

Keywords: Decarbonization, transport, sustainable development, sustainable development goals, sustainable transport, transport infrastructure

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зменшення викидів парникових газів, що має важливе значення для боротьби зі зміною клімату. Декарбонізація передбачає скорочення викидів парникових газів, зокрема шляхом переходу від традиційних джерел енергії, таких як вугілля, нафта і природний газ, до чистих альтернатив.

Метою роботи є проведення оглядового аналізу шляхів декарбонізації транспортної галузі у контексті впровадження цілей сталого розвитку.

Глобальне потепління широко визнано однією з головних проблем людства, і воно залишається актуальним протягом понад 40 років [1]. За цей час кліматична політика пройшла кілька етапів еволюції, починаючи від наукового визнання проблеми, виходу на політичну арену, створення інституційної платформи, імплементації Кіотського протоколу та підписання Паризької угоди [2]. У відповідь на глобальну боротьбу зі зміною клімату та значну роль

транспортного сектору у викидах парникових газів (ПГ) Україна також працює над адаптацією своєї транспортної політики до принципів Європейської зеленої угоди.

Європейська зелена угода (надалі – EGD) – це план дій Європейського Союзу щодо досягнення кліматично нейтральної Європи до 2050 року. Ініціатива була започаткована у відповідь на вимогу громадян ЄС, які вважають зміну клімату серйозною проблемою і вважають, що ЄС повинен робити більше для боротьби з нею. Правові та політичні рамки EGD ґрунтуються на Європейському зеленому курсі, Водневій стратегії ЄС та Стратегії адаптації ЄС до зміни клімату.

Транспортний сектор є одним з найбільших джерел забруднення та викидів парникових газів. Рівень транспортної безпеки, енергоспоживання та впливу на довкілля в українських містах не відповідає сучасним вимогам. Забруднення від транспорту негативно впливає не лише на довкілля, а й на здоров'я міського населення.

На транспорт припадає чверть промислових викидів газу, і ці викиди продовжують зростати: для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року транспортні викиди мають бути скорочені на 90%, і всі види транспорту повинні сприяти досягненню цієї мети. Розвиток сталого транспорту означає надання пріоритету інтересам користувачів і створення дешевших, здоровіших і чистіших альтернатив існуючим видам транспорту.

Декарбонізація транспортної галузі - це процес зниження або повного усунення викидів вуглекислого газу (CO₂) та інших парникових газів, які відчувуються при використанні транспортних засобів, та є одним з найважливіших пріоритетів на шляху до сталого розвитку. Глобальні тенденції декарбонізації показують, що багато країн вживають заходів для зменшення своєї вуглецевої залежності, екологізації своєї виробничої діяльності та переходу до сталого розвитку. Основні заходи, що сприяють декарбонізації, включають реалізацію урядових ініціатив, запровадження відповідних нормативних актів, використання економічних стимулів, розвиток інноваційних технологій та міжнародне співробітництво.

Відповідно до Європейської зеленої угоди, наприкінці 2020 року Європейська комісія прийняла «Стратегію сталої та розумної мобільності», яка є основним документом, що окреслює майбутній розвиток європейської транспортної системи з метою досягнення кліматично нейтральної економіки до 2050 року [3]. Стратегія ґрунтується на трьох пріоритетах, пов'язаних зі зменшенням поточної залежності транспортного сектору від викопного палива, надання послуг мультимодального перевезення та перехід на стійкі види транспорту, що є надзвичайно актуальним у наш час. Зазначені пріоритети

зосереджені на стимулюванні виробництва транспортних засобів з нульовими викидами відновлюваного та низьковуглецевого палива та відповідної інфраструктури; створенні аеропортів і портів з нульовими викидами; досягненні сталої міської та міжміської мобільності та охорони здоров'я населення; прийнятті принципу «забруднювач платить».

Відповідно до заявлених завдань, держави-члени ЄС активно впроваджують політику декарбонізації транспортного сектору. Серед успішних ініціатив варто виділити такі: сприяння збільшенню середньої завантаженості транспортних засобів за допомогою їх спільного використання; стягнення плати за перенавантаження на дорогах (затори); пропагування велосипедних та пішохідних зон; скорочення викидів та заборони на рівні міста на обіг бензинових/дизельних автомобілів, електрифікація залізниць, впровадження мультимодальних перевезень [4].

Гармонізація транспортної політики України з європейськими стандартами сприятиме зменшенню викидів, інтеграції в європейську транспортну та енергетичну системи, підвищенню конкурентоспроможності на міжнародному ринку та забезпеченню сталого економічного зростання. Однак Україна стикається з кількома викликами на шляху до декарбонізації свого транспортного сектору, включаючи залежність від викопного палива, необхідність модернізації інфраструктури та обмежені фінансові ресурси для досягнення цих цілей.

Усі види транспорту відіграють важливу роль у транспортній системі, і кожен із них має бути адаптований до більш екологічно стійких стандартів. Ключовим пріоритетом є збільшення використання транспортних засобів з низьким і нульовим рівнем викидів, а також впровадження відновлюваних джерел палива з низьким вмістом вуглецю в автомобільному, водному, повітряному та залізничному транспорті. Крім того, необхідно розвинути необхідну інфраструктуру для цих транспортних засобів і підвищити попит серед кінцевих користувачів. Ключовим компонентом є підтримка досліджень та інновацій, спрямованих на розробку конкурентоспроможних, стійких і «кругових» [5] продуктів і послуг, що допомагає забезпечити постачання необхідних транспортних засобів і палива на ринок.

Використання відновлюваних джерел енергії стає критично важливим у боротьбі з екологічними проблемами, які спричиняє транспорт. Традиційні транспортні засоби, що працюють на бензині та дизелі, є основними джерелами викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що спричиняють забруднення повітря та глобальне потепління.

Перехід на відновлювані джерела енергії може суттєво знизити екологічний вплив транспорту:

- **електромобілі**, що працюють на електриці, отриманій від сонячної та вітрової енергії, є одним із найбільш ефективних способів зменшення викидів. Поєднання електромобілів із сонячними батареями дозволяє виробляти чисту електроенергію для зарядки, що знижує залежність від викопних палив.

- **водневий транспорт** також демонструє значний потенціал у зниженні екологічного навантаження. Водневі автомобілі, що працюють на паливі з водню, викидають лише воду, що робить їх абсолютно екологічно чистими. Виробництво водню з використанням відновлюваних джерел енергії додатково підвищує екологічну безпеку цього виду транспорту.

- **біопаливо**, яке виготовляється з рослинної сировини, також розглядається як альтернатива традиційним видам палива. Попри те, що біопаливо виробляє CO₂ при згорянні, воно має менший вуглецевий слід завдяки поглинанню CO₂ під час росту рослин, з яких його виробляють.

- *електрифікація залізниць. Залізничний транспорт є найбільш екологічно чистим видом наземного транспорту завдяки високому рівню електрифікації та зростаючому використанню технологій з нульовим викидом вуглецю. Це дозволяє значно скоротити викиди в транспортному секторі.*

Загалом, відновлювані джерела енергії мають вирішальне значення у створенні сталого транспорту, який мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище.

Висновок. Отже, боротьба зі зміною клімату, зокрема через декарбонізацію транспортного сектору, є ключовим завданням, яке стоїть перед світовою спільнотою, включаючи Україну. На прикладі Європейського зеленого договору можна побачити чіткий вектор, спрямований на досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, де транспортний сектор має істотну роль у скороченні викидів парникових газів. Успішна реалізація кліматичної політики вимагає комплексного підходу, який охоплює впровадження нових технологій, перехід до відновлених джерел енергії, розвиток інфраструктури для екологічно чистих транспортних засобів та підтримку інновацій. Україна активно адаптує національну транспортну політику до європейських стандартів, забезпечуючи сталий розвиток галузі та зменшуючи її негативний вплив на довкілля, такі зусилля сприяють створенню здорового середовища та підвищенню якості життя громадян, водночас забезпечуючи виконання міжнародних зобов'язань у сфері захисту навколишнього середовища.

Л і т е р а т у р а

1. UN General Assembly Resolution No. 45/212. Available at: <https://undocs.org/ru/A/RES/45/212>

2. Paris Climate Agreement. Available at: https://ecoaction.org.ua/polityka-vs-zmina-klimatu.html?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI98nXi-6oiAMViKhoCR3t3DqLEAAYASAAEgLXU D BwE

3. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions. Sustainable and Smart Mobility Strategy — putting European transport on track for the future. COM/2020/789 final. EUR-Lex. Available at: [EUR-Lex - 52020DC0789 - EN - EUR-Lex](#)

4. Noussan M., Hafner M., Tagliapietra S. Policies to Decarbonize the Transport Sector. The Future of Transport Between Digitalization and Decarbonization. SpringerBriefs in Energy. Springer, Cham, 2020. Pp. 71-112. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37966-7_4

5. Directive (EU) 2019/1161 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive 2009/33/EC on the promotion of clean and energy- efficient road transport vehicles (Text with EEA relevance), 20.06.2019: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj>.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ДІЯЛЬНІСТЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Сторожук А. М. – бакалаврант, storoshyk_am@gsuite.duit.edu.ua
Ковальчук В. В. – к.ф.-м.н., доцент, kovalchuk_vv@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

ENERGY-SAVING ACTIVITIES AT RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES

Storoshyk A. M. – bachelor's student, storoshyk_am@gsuite.duit.edu.ua
Kovalchuk V. V. – Ph.D., Associate Professor, kovalchuk_vv@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article is dedicated to analyzing measures aimed at increasing the energy efficiency of Ukraine's railway transport enterprises amid the energy crisis caused by the full-scale invasion of Russia. It has been established that energy conservation in railway enterprises must be based on a comprehensive approach, which includes technical and organizational-economic aspects. The technical aspect covers measures to reduce energy intensity, the use of alternative energy sources, and innovative technologies. The study results provide recommendations for implementing energy-saving measures such as accounting for energy-intensive production processes, the application of blockchain technologies, optimization of thermal insulation, and the use of economical lighting systems, among others.*

Keywords: *energy efficiency, energy conservation, railway transport, fuel and energy resources, energy resource savings, alternative energy sources*

Актуальність дослідження зумовлена посиленням енергетичної кризи, яке загострилось через повномасштабне вторгнення росії в Україну. Обстріли та руйнування енергетичних об'єктів призводять до зниження ефективності паливно-енергетичного комплексу країни. Враховуючи, що значна частка всього споживання паливно-енергетичних ресурсів йде на потреби транспорту України в цілому й залізничної галузі зокрема, важливого значення набувають дослідження щодо пошуку перспективних шляхів підвищення енергетичної ефективності на підприємствах залізничного транспорту.

Метою роботи є аналіз та обґрунтування заходів і чинників, які сприятимуть підвищенню енергоефективності підприємств залізничного транспорту і зниженню енергомісткості при оптимізації використання енергоресурсів у транспортній галузі.

Залізничний транспорт є основою транспортного комплексу України,

важливою складовою як для вантажних, так і для пасажирських перевезень [1, 2]. Завдяки своїм перевагам та універсальності залізничний транспорт обслуговує майже всі галузі економіки і задовольняє потреби в перевезеннях пасажирів і вантажів практично у всіх кліматичних зонах і в будь-який час. При цьому процеси ресурсозбереження мають стратегічне значення для підприємств залізничної галузі, що зазначено в Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [3].

До початку війни експлуатаційна залізнична мережа України була однією з найбільших у Європі і досягала майже 21 тис. км. Із них електрифіковані 9 926,4 км, що становить 47,4 % всіх колій [3]. Орієнтація пасажирських перевезень і вантажопотоків залізниць на переважне завантаження електрифікованих напрямів та зниження споживання дизельного палива сприяє енергозбереженню і зміні енергобалансу. При цьому перевезення електротягою забезпечує значно нижчу питому собівартість.

Повномасштабне вторгнення росії в Україну окрім безпосередніх руйнувань і пошкоджень (у тому числі й об'єктів залізничної галузі) створює додаткові виклики для енергетичної системи. Критичними стають питання забезпечення стабільного постачання енергії, впровадження заходів з енергоефективності та раціонального використання енергетичних ресурсів.

У таких складних умовах технології та методи збереження електроенергії і пального стали найактуальнішими питаннями господарської діяльності кожного залізничного підрозділу. При цьому слід зазначити, що нині основні фактори формування енергоефективності підприємств залізничного транспорту мають в собі дві важливі складові: технічну та організаційно-економічну.

Технічний аспект зосереджений на підвищенні ефективності виробництва та зниженні енергоємності через заходи з енергозбереження. На таких підприємствах залізничного транспорту як локомотивне господарство, вагонне депо тощо питання енергозбереження вирішують за двома основними напрямками [2]:

- 1) зниження витрат палива та електричної енергії на тягу поїздів;
- 2) економія паливно-енергетичних ресурсів при технічному обслуговуванні і ремонті рухомого складу.

Ресурсозбереження на сучасному етапі окрім ощадливої витрати ресурсів передбачає також впровадження нових технічних засобів і технологій, використання альтернативних джерел енергії, заміщення енергоносіїв тощо. Серед основних заходів щодо енергозбереження на підприємствах залізничного транспорту можна також виділити такі [1, 4]:

- підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів для рухомого складу та об'єктів інфраструктури;

- розробка енергооптимальних режимів ведення поїздів;
- впровадження сучасних систем управління температурними режимами і розподілом та використанням енергоносіїв;
- контроль над витратами електричної енергії на освітлення, впровадження економічних освітлювальних систем;
- зниження втрат палива та теплової енергії за рахунок покращення герметизації термічного обладнання;
- підвищення ефективності утилізації енергії та ін. ;

Впровадження нових технологій дозволить також для пасажирських перевезень зменшити витрати паливо-енергетичних ресурсів на опалювання і вентиляцію вагонів та сервісне обслуговування пасажирів. У пасажирських вагонах, а також будівлях і спорудах залізничної інфраструктури доцільним є застосування сучасних енергоекономічних кліматичних пристроїв і теплоізоляційних матеріалів нового класу.

Організаційно-економічний підхід передбачає впровадження системи енергетичного менеджменту, обліку та моніторингу споживання енергоресурсів. З цією метою на підприємствах залізничної галузі створюють нові відділи і служби, які здійснюють вимірювання, облік та аналіз енергоспоживання. На основі проведеного аналізу розробляють проекти для забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів. Доцільним також є створення спеціальної бази даних щодо проектів, які є перспективних для залізничної галузі з точки зору питань ресурсозбереження. Ці проекти мають бути спрямовані на покращення техніко-технологічного стану тягового рухомого складу та інших об'єктів інфраструктури за рахунок їх оновлення і модернізації. До указаної бази даних мають бути занесені також проекти з удосконалення технологій ремонту і обслуговування рухомого складу залізниць.

Новими напрямками в організаційно-економічному підході є застосування систем обліку та контролю енергоресурсів на основі блокчейн технологій, які дають можливість в транспортній логістиці керувати вантажоперевезеннями з метою підвищення їхньої ефективності. Використання єдиної бази даних і технологій «Blockchain» дозволяє здійснювати вантажоперевезення в рази швидше, що є важливим аспектом для ресурсозбереження.

Висновки. Енергоефективність та енергозбереження є ключовими стратегіями, які сприяють зниженню енергоємності та оптимізації використання паливно-енергетичних ресурсів у залізничному секторі. Для підприємств залізничної галузі впровадження нових умов енергозбереження дозволить зменшити собівартість перевезень за рахунок економного використання всіх видів енергоносіїв.. Комплексна реалізація запропонованих у

цій роботі заходів сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємств залізничного транспорту в умовах енергетичних викликів.

Л і т е р а т у р а

1. Ковальчук Ю.Д. Аналіз внутрішніх та зовнішніх продуктогенних детермінант енергозбереження на підприємстві залізничного транспорту. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"* (економічні науки), 2020, (4). С. 25-31.

2. Лавро Р.С., Ткаченко І.С., Счастний Є.Є. Питання енергозбереження на підприємстві залізничного транспорту. *Прогресивні технології засобів транспорту: матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції* (23–24 вересня 2021 р.). Харків–Миргород, 2021. С. 163-164.

3. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 30 травня 2018 р. № 430-р. Київ, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/oreusl> (дата звернення 18.11.2024).

4. Боровик Ю.Т., Єлагін Ю.В. Енергозбереження та енергоефективність як фактори підвищення конкурентоспроможності підприємств залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 2018. № 61, С. 103-110.

НЕСИМЕТРИЯ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ С СИЛОВИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ 10/0,4 КВ З ТИПОВИМИ СХЕМАМИ З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК, ЩО МІСТИТЬ ПОНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Суслов В.М. – науковий співроб., svictorm46@gmail.com

Бошняга В.А. – старший науковий співроб., к.т.н., valeriu.bosneaga@gmail.com
Moldova Technical University, Power Engineering Institute
Republic of Moldova, Chisinau

VOLTAGE ASYMMETRY IN THE DISTRIBUTION NETWORK WITH 10/0.4 KV POWER TRANSFORMERS WITH TYPICAL WINDING CONNECTION SCHEMES CONTAINING RENEWABLE ENERGY SOURCES

Suslov V. – scientific collaborator, svictorm46@gmail.com

Bosneaga V. – senior scientific collaborator, PhD in technical sciences,
valeriu.bosneaga@gmail.com
Moldova Technical University, Power Engineering Institute
Republic of Moldova, Chisinau

Abstract. *This work is dedicated to determining the interdependence of voltage asymmetry in the 0.4 kV distribution network, the magnitude of the current generated by a renewable energy source (RES) connected to one of its phases, and its location. The paper considers the use of three types of winding connection schemes for these transformers: star/star with neutral (Y/y0), delta/star with neutral ($\Delta/y0$), and delta/zigzag with neutral ($\Delta/z0$). The obtained dependencies allow for determining the permissibility of connection combinations of the RES location in the distribution network according to current standards and their usage limits.*

Keywords: *Renewable energy sources, distribution networks and transformers, transformer winding connection schemes, voltage asymmetry*

У розподільній мережі поновлювані однофазні джерела електроенергії створюють несиметрію напруги. Ставиться завдання визначення міри цієї несиметрії для вказаних схем з'єднання розподільних трансформаторів від міри віддаленості джерела поновлюваної енергії від трансформатора і, природно, від величини його генерації. Очевидно, що несиметрія напруги в мережі викликається складовими зворотної і нульової послідовності генерованого струму, і що найбільша несиметрія виникає безпосередньо в місці їх підключення до мережі. Складові прямої послідовності цих струмів і струмів іншого навантаження, яке вважається симетричним, не створюють несиметрії і тому не враховуються. Для визначення коефіцієнтів несиметрії напруги в розподільній мережі необхідно знати параметри усіх її елементів для режимів по зворотній і нульовій послідовності.

Для визначення коефіцієнтів несиметрії напруги в розподільній мережі необхідно задати параметри усіх її елементів для режимів по зворотній і нульовій послідовності. Покажемо в нижченаведеній таблиці параметри типових трансформаторів досліджуваних схем.

Таблиця 1– Параметри трансформаторів досліджуваних схем

Схема з'єднання обмоток трансформатора	Найменування параметра		Величина
Для усіх схем	Номінальна потужність, кВА		100
	Номінальна напруга, кВ	Первинна сторона Вторинна сторона	10,5 0,4
Y/y0	Подовжній опір, виміряний на вторинній стороні трансформатора, Ом	Для послідовності	
		Зворотною	Нульовий
0,0722 (0,0315+j0,065)		0,635 (0,254+j0,582)	
		0,0722 (0,0315+j0,065)	
Δ /y0		0,0751 (0,0363+j0,0657)	0,0189 (0,0156+j0,0106)
Y /z0			

Примітки:

1) Для 2-ої і 3-ої схем з'єднання обмоток трансформаторів прийняті однакові величини опорів струму зворотної (прямий) послідовності.

2) Для 2-ої схеми з'єднання обмоток трансформаторів прийняті однакові опори струмам обох послідовностей.

3) Істотне підвищення опору струму нульової послідовності для 1-ої схеми схем з'єднання обмоток трансформатора пов'язане з тим, що цей струм не може протікати по його первинних обмоткам.

4) Величини опорів трансформатора для струму, генерованого джерелом поновлюваної електроенергії, вибиралися згідно [1].

Питомі параметри трифазної чотирижильної кабельної лінії приведені в наступній таблиці 2. Враховувалися тільки її активні опори з огляду на те, що їх величини на порядок перевершують їх реактивні компоненти.

Таблиця 2– Питомі параметри трифазної чотирижильної кабельної лінії

№ з/п	Найменування параметра	Послідовності	
		Зворотною (прямий)	Нульовий
1	Переріз жил, мм ²	35/16	
2	Питомий активний опір кабелю, Ом/км	0,8	6,05

Примітка: При розрахунку режиму нульової послідовності в розподільній мережі було прийнято, що струм нульової послідовності повертається до джерела возобновляемой електроенергії виключно по нульовій жилі кабелю. Це

правомірно з огляду на те, що навіть при його заземленій нейтралі вже тільки активний опір заземлення нейтралі живлячого трансформатора, по нормі, рівний 4 ом, більше ніж на порядок перевищує активний опір нульової жили використовуваній кабельній лінії розумної довжини. А ще необхідно додатково враховувати і опір заземлення нейтралі цього джерела.

Визначення міри несиметрії при різних схемах з'єднання обмоток трансформаторів в місці підключення джерела поновлюваної електроенергії на одну з фазних жил чотирижильного повітряного кабелю при варіації відстані цього місця від мережевого трансформатора.

У загальному випадку міра несиметрії в розподільній мережі визначається окремо для зворотної і нульової послідовності. Вона залежить від величини струму джерела ВИЕ і від сумарного опору ділянки мережі від розподільного трансформатора до місця ВИЕ і самого трансформатора. У загальному випадку міра несиметрії в розподільній мережі визначається окремо для зворотної і нульової послідовності. Вона залежить від величини струму джерела ВИЕ і від сумарного опору ділянки мережі від розподільного трансформатора до місця ВИЕ і самого трансформатора.

Цей коефіцієнт може бути визначений з наступного вираження.

$$k_{ns} = \frac{1}{9} \cdot k_{gen} \cdot \frac{S_n}{U_n^2} \cdot |Z_t + z_l \cdot l| \quad (1)$$

де Z_t – опори даних трансформаторів зворотній (прямій) або нульовій послідовності, Ом,

z_l - питомі опори кабельної лінії для тих же послідовностей, Ом/м

l - довжина ділянки кабельної лінії від розподільного трансформатора до місця ВИЕ, м.

"|" - символи, що визначають необхідність обліку повного опору, що вноситься, в цей ланцюг по модулю,

k_{gen} - коефіцієнт генерації по струму поновлюваного джерела в по відношенню до номінального струму вторинної обмотки трансформатора,

S_n - номінальна потужність трансформатора, ВА,

U_n - номінальна напруга вторинної обмотки розподільного трансформатора, В,

Цифра 9 - враховує, як однофазний характер генерації струму, так і рівність між собою усіх його складових.

Для розподільної мережі з трансформатором $Y/y0$ графіки коефіцієнтів несиметрії не будувалися зважаючи на його у край погані параметри по нульовій послідовності. Тобто, трансформатор з такою схемою практично непридатний для використання з однофазною інжекцією ВИЕ при дотриманні діючих норм по допустимих значеннях коефіцієнтів несиметрії [2].

Графіки по несиметрії для розподільної мережі з трансформатором $\Delta/y0$ для обох послідовностей приведені нижче на мал.1, 2.

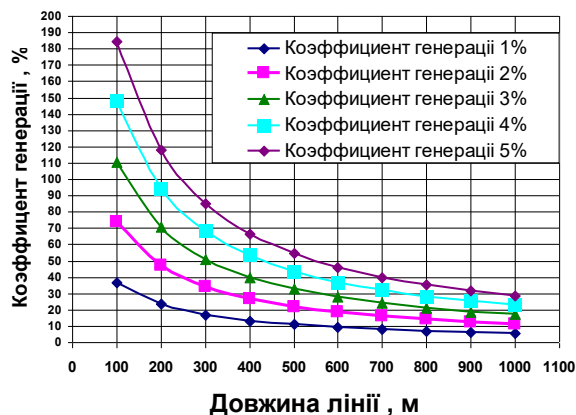


Рис.1–Відповідність коефіцієнтів генерації ВИЕ їх відстаням від розподільного трансформатора $\Delta/y0$ заданим коефіцієнтам несиметрії по зворотній послідовності

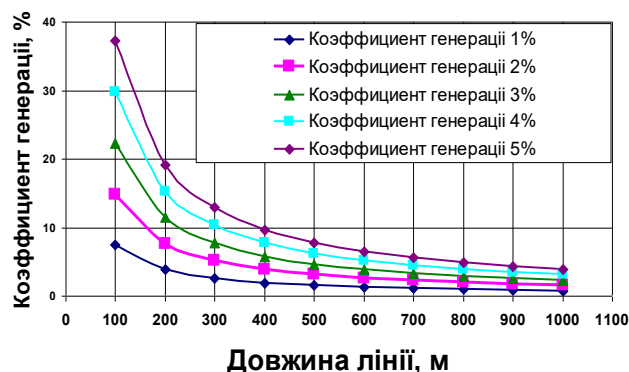


Рис. 2 – Те ж по нульовій послідовності

Для розподільної мережі з трансформатором $Yz0$ відповідні графіки приведені нижче на мал. 3,4.

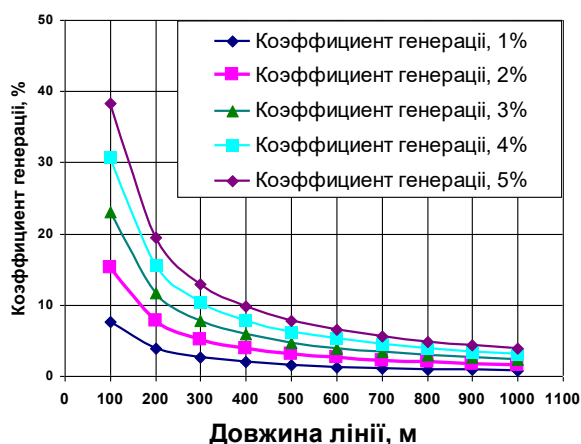


Рис.3 – Відповідність коефіцієнтів генерації ВИЕ їх відстаням від розподільного трансформатора $Y/z0$ заданим коефіцієнтам несиметрії по зворотній послідовності

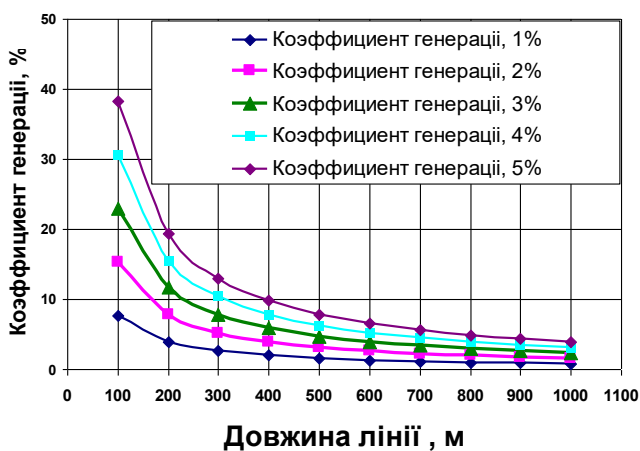


Рис. 4 – Те ж по нульовій послідовності

Видно, що графіки несиметрії по зворотній послідовності для останньої даної мережі практично співпадають з аналогічними графіками для мережі з трансформатором $\Delta/y0$.

Висновки.

1. Преважним способом підключення однофазної генерації на стороні 0,4 кВ трансформатора являється підключення однофазного джерела до шин

живлячого трансформатора через однофазний двожильний кабель, або використання трифазної генерації із застосуванням трифазного інвертора.

2. Істотним недоліком використання живлячого трансформатора з групою з'єднання його обмоток $Y/y0$ являється значне зростання коефіцієнта несиметрії напруги (по нульовій послідовності) на його шинах при скільки-небудь помітній однофазній генерації, тим самим сильно обмежується можливість її використання в підключеній до нього мережі 0,4 кВ.

3. Схеми з'єднання обмоток живлячого трансформатора $\Delta/y0$ і $\Delta/z0$ рівнозначні при відносно малій відстані місця підключення ВИЕ від трансформатора, оскільки при цьому визначальною буде несиметрія по зворотній послідовності. В цьому випадку подовжні опори трансформаторів обох схем для зворотної послідовності приблизно рівні. При порівняно більшому видаленні цього місця від трансформатора визначальною буде несиметрія по нульовій послідовності, а його опір по цій послідовності для схеми $\Delta/z0$ істотно менше, ніж для схеми $\Delta/y0$.

4. У разі підключення джерела однофазної генерації не до шин 0,4 кВ живлячого трансформатора (через однофазний двожильний кабель), а на певній відстані від трансформатора через трифазний 4-х жильний кабель, допустима величина цієї генерації буде обмежена питомими електричними параметрами кабелю і його довжиною.

5. Головним обмежувачем величини однофазної генерації джерелами поновлюваної електроенергії, при їх підключенні до розподільного трансформатора через чотирижильний трифазний кабель, являється його істотно більший опір по нульовій в порівнянні з прямою послідовністю тієї ж довжини.

Л і т е р а т у р а

1. URL: <https://www.proektant.org>
2. Стандарт Молдови SM EN 50160:2014. Caracteristici ale tensiunii în rețelele electrice publice de distributie. INS: Chisinau, 2014, pp.11-12.

ОСОБЛИВОСТІ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ

Тоберт О.Ю. – аспірант, *tobert.sasha@gmail.com*
Миргород Д.Г. – аспірант, *19mirgoroddenis92@gmail.com*
Мірошник О.О. – д.т.н., проф., *omiroshnyk@ukr.net*
Державний біотехнологічний університет
Україна, м. Харків

FEATURES OF COOPERATION OF SOLAR POWER PLANTS AND ENERGY STORAGE SYSTEMS

Tobert O. – graduate student, *tobert.sasha@gmail.com*
Myrhorod D. – graduate student, *19mirgoroddenis92@gmail.com*
Miroshnyk O. – Doctor of Technical Sciences, Professor, *omiroshnyk@ukr.net*
State Biotechnological University
Ukraine, Kharkiv

Abstract. *This article explores the key aspects of cooperation between solar power plants (SPPs) and energy storage systems (ESSs). As renewable energy sources gain prominence, the integration of energy storage has become essential to address the intermittent nature of solar power generation. This cooperation enhances grid stability, optimizes energy utilization, and mitigates power fluctuations. By combining SPPs and ESSs, energy can be stored during periods of high generation and released when demand exceeds supply, improving overall efficiency. This study investigates technological and operational strategies that optimize the performance of these systems.*

Keywords: *Solar power plants, energy storage systems, renewable energy integration, grid stability, power fluctuations, energy efficiency.*

Актуальність дослідження зумовлена все більшим впровадженням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної енергії, до національної електричної мережі країни. Через ракетні атаки з боку росії втрати енергетичних потужностей мали серйозні наслідки для стабільного енергопостачання та в цілому для економіки України [1]. Тому розвиток систем зберігання енергії дає можливість зробити сонячну енергетику ще ефективнішою.

Метою роботи є дослідження взаємодії між сонячними електростанціями та системами зберігання енергії. Це дозволить виявити основні переваги та недоліки, а також можливості для покращення енергоефективності та стабільності електричних мереж.

На сьогоднішній день сонячна енергія є одним з найбільш поширених і перспективним джерелом у відновлювальній енергетиці. Це пояснюється все більшими інвестиціями у цій галузі. Так, згідно з прогнозом, до 2030 року частка сонячної енергетики в загальному енергобалансі України може сягнути

10-15%, незважаючи на те, що зараз енергетична галузь країни переживає складні часи [1].

У 2023 році уряд України ухвалив Закон "Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії" [2] в якому розглянули новий вид діяльності щодо зберігання електричної енергії. В цілому, Закон спрямований на все більше запровадження та розвиток систем зберігання енергії з урахуванням існуючих викликів.

Системи зберігання електроенергії – це пристрої чи комплекси обладнання, призначені для накопичення, зберігання та подальшого використання електричної енергії. Ці системи накопичення енергії відіграють ключову роль у сучасній енергетиці, забезпечуючи стабільність та надійність електропостачання [3, 4].

Робота сонячної електростанції (СЕС) неможлива без системи зберігання електричної енергії [5, 6]. Існує багато способів, щодо накопичення енергії, однак для СЕС найчастіше обирається хімічний метод зберігання, під яким можна розуміти акумулювання енергії в акумуляторних батареях. Кожен вид акумулятора має свої переваги і недоліки, але LiFePO₄ акумулятор серед них відрізняється гарної енергоефективністю, швидким зарядженням, тривалим терміном служби та найвищим ККД [4].

В своїй структурі система зберігання енергії містить інвертор, що служить для ефективного використання електричної енергії виробленої з ВДЕ. За допомогою інвертора відбувається заряд акумуляторних модулів постійним струмом. Таким чином, коли СЕС має гарну генерацію, надлишок електричної енергії відбувається зарядження акумуляторних батарей. Відповідно, коли генерація з ВДЕ має невеликі показники, наприклад, через погодні умови, накопичена енергія з акумуляторів перетворюється за допомогою інвертора у змінний струм і може бути використана споживачами.

Отже, системи зберігання енергії допомагають накопичувати надлишок енергії, коли її виробляється більше, ніж потрібно, що допомагає запобігати перевантаженню мережі та згладжувати коливання потужності. Вони також здатні підтримують стабільність мережі, забезпечуючи регулювання напруги. Такі системи допомагають згладжувати короткострокові коливання, викликані зміною погодних умов, і надавати резервне живлення, коли це необхідно [3].

Попри значні переваги, інтеграція систем накопичення енергії з СЕС має й певні недоліки, такі як висока вартість акумуляторів та їхній обмежений термін служби.

Висновок. Розвиток систем зберігання енергії є важливою умовою для підвищення ефективності та стабільності роботи СЕС в енергосистемі України, зокрема в умовах збільшених викликів для енергетичної галузі. Впровадження

сучасних акумуляторних технологій, таких як LiFePO₄, надає можливість оптимізувати використання електричної енергії, накопичуючи її надлишки для подальшого використання під час недостатньої генерації. Крім того, такі системи зберігання дозволяють згладжувати коливання потужності та знижувати навантаження на мережу, що позитивно впливає на стабільність енергопостачання. Водночас інтеграція систем накопичення має й певні обмеження, зокрема через високу вартість обладнання та обмежений термін служби акумуляторів.

Л і т е р а т у р а

1. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/xzgigp>
2. Закон України Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/lxvmrp>
3. Система зберігання електроенергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/miifdn>
4. Огляд LiFePO₄ акумуляторів: застосування, особливості роботи і переваги технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/kmjwqc>
5. A. Khasawneh, M. Qawaqzeh, O. Miroshnyk, D. Danylchenko, K. Minakova, A. Potryvai. Methodology for Accounting for the Influence of Dust Cover on the Performance of a Photovoltaic System for Matlab. Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021, Kremenchuk 2021. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598611>
6. O. Savchenko et al. Improving the Efficiency of Solar Power Plants Based on Forecasting the Intensity of Solar Radiation Using Artificial Neural Networks, 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 137-140, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

Тоберт М.Ю. – аспірант, tobert.mikhail@gmail.com

Мороз О.М. – д.т.н., професор, moroz.an@ukr.net

Державний біотехнологічний університет

Україна, м. Харків

RESEARCH ON THE STRUCTURE OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM AND THE PURPOSE OF ITS ELEMENTS

Tobert M.Yu. – graduate student, tobert.mikhail@gmail.com

Moroz O.M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, moroz.an@ukr.net

State Biotechnological University

Ukraine, Kharkiv

Abstract. *The article analyses the use of a modern energy storage system, such as a battery energy storage system (BESS), in the structure of a local electrical system, which has the ability to use different types of batteries in its architecture, since the battery management system technology can be used to monitor the state of battery modules, which significantly increases the safety of operation. In turn, the combination of the other two technologies, the power conversion system and the energy management system, makes this system complete for the safe use of stored energy from renewable sources. Today, the Ukrainian power system needs more decentralised power generation, so a localised electrical system combined with a reliable battery storage system can help with this.*

Keywords: *local electrical grids, microgrid, renewable energy sources, batteries, battery energy storage system, battery management system, power conversion system, energy management system*

Актуальність дослідження зумовлена складною ситуацією в енергетичній системі України. Так, внаслідок окупації та ракетних атак росії протягом повномасштабного вторгнення з 24.02.2022 було пошкоджено біля 55% об'єктів генерації, включаючи сонячні, вітрові, теплові та гідроелектростанції, магістральні лінії передачі тощо [1]. Тому системи зберігання енергії в локальних електричних системах є одним із ключових рішень для підвищення стійкості енергопостачання, гнучкості та децентралізації. Основним завданням установок зберігання енергії є оптимізація виробництва електроенергії та забезпечення додаткової потужності для балансування енергосистеми, гарантуючи її гнучкість - вирівнювати графік навантаження на генерацію і іншу електроенергетичну інфраструктуру [2].

Метою роботи є дослідження структури системи накопичення енергії та аналіз функціональних компонентів, які складають дані системи. Особлива увага приділяється вивченню ролі основних компонентів BESS у забезпеченні

ефективного зберігання і використання електроенергії в локальних енергетичних системах.

Існують різні способи накопичення електричної енергії з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які поділяються на три основні типи: хімічні, механічні та електричні [3]. Зазвичай, для систем, що накопичують електричну енергію вироблену з ВДЕ, частіше використовується хімічний метод зберігання. Це пояснюється більш широким впровадженням акумуляторних систем, таких як BESS, в потужності генерації ВДЕ [4].

Хімічний спосіб полягає в акумуляуванні енергії в хімічних сполуках. Тобто, під цим можна розуміти звичайні акумуляторні батареї (АБ). В свою чергу, сучасні АБ великої ємності можуть забезпечити накопичення надлишкової енергії і використовувати її в періоди пікового навантаження, або коли генерація енергії низька. Таким чином, це значною мірою підвищує стабільність й надійність електропостачання.

Сучасна BESS може працювати з різними видами акумуляторів. Серед найпоширеніших технологій сьогодні використовуються літій-іонні та їх підтипи, натрій-сірчані, проточні та свинцево-кислотні акумулятори [4]. Відповідно, кожен тип АБ має свої переваги й недоліки і обирається в залежності від загальної потужності, вартості, терміну служби, продуктивності, рівню безпеки тощо.

Використання АБ неможливе без допоміжних систем, які є в структурі BESS. До будови BESS входить battery management system (BMS), інвертори або power conversion system (PCS) та energy management system (EMS) [5].

BMS відповідає за контроль параметрів безпечної роботи АБ. До цих параметрів відноситься робочі значення напруги та струму під час заряду/розряду АБ та, відповідно, температури. Тобто, ця система відповідає безпосередньо за захист та безпечну роботу акумуляторних модулів, забезпечуючи захист від перезаряджання або надмірного розряджання АБ [5].

PCS — це система, що містить в своєму складі одночасно інвертори, трансформатори та схеми керування. Завдяки саме цій системі відбувається перетворення постійного струму, накопиченого в АБ, в змінний з подальшим його використанням для живлення різноманітних пристроїв та систем [5, 6].

За забезпечення роботи всієї BESS відповідає інтегрована програмна система управління EMS. Ця система є блоком керування, який збирає дані в режимі реального часу від систем BMS та PCS, і на основі отриманої інформації блок керування автоматично приймає рішення щодо накопичення енергії АБ і прораховує стратегії для їх заряду та розряду [5, 7].

Схема зв'язку основних компонентів BESS наведена на рисунку 1.

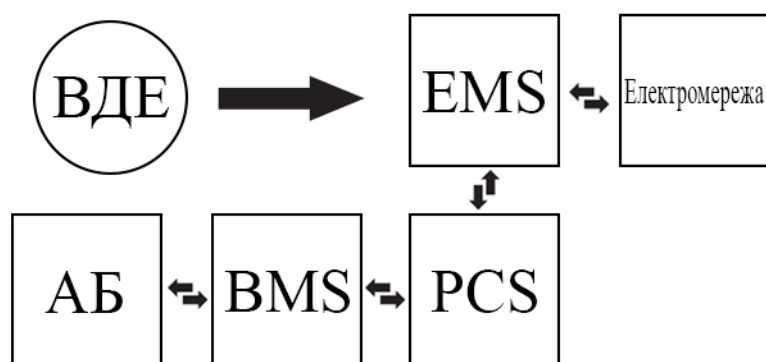


Рисунок 1 – Схема компонентів BESS

Ця схема ілюструє роботу основних компонентів всієї системи BESS, що використовується для ефективного зберігання та використання накопиченої енергії. Щодо архітектури системи, вона може бути адаптована до будь-яких специфічних потреб, промислових застосувань тощо.

Висновок. В результаті проведеного дослідження була визначена структура сучасної системи накопичення енергії BESS та зв'язок основних компонентів. Такі системи забезпечують ефективне зберігання та використання енергії з ВДЕ. Метод зберігання енергії використовується хімічний, через акумулятори різних типів. Важливими компонентами BESS є системи BMS, PCS та EMS, які відповідають за безпеку, інвертування енергії та управління процесами заряду і розряду.

Л і т е р а т у р а

1. Буславець О.А., & Лежнюк П.Д. Відновлювана енергетика в сучасному енергобалансі України [Презентація]. <http://surl.li/sbrrij>
2. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку установок зберігання енергії». 2022. Верховна Рада України. <http://surl.li/lxvmrp>
3. Detka, K., & Górecki, K. (2023). Selected technologies of electrochemical energy storage—A review. *Energies*, 16(5034). <https://doi.org/10.3390/en16135034>
4. Mongird K., Viswanathan V., Balducci P., Alam J., Fotedar V., Koritarov V., & Hadjerioua B. (2020). An evaluation of energy storage cost and performance characteristics. *Energies*, 13(3307). <https://doi.org/10.3390/en13133307>
5. Saldarini A., Longo M., Brenna M., & Zaninelli D. (2023). Battery electric storage systems: Advances, challenges, and market trends. *Energies*, 16(7566). <https://doi.org/10.3390/en16227566>
6. Na, K.-S., Lee, J., Kim, J.-M., Lee, Y.-S., Yi, J., & Won, C.-Y. (2021). Power conversion system operation algorithm for efficient energy management of microgrids. *Electronics*, 10(2791). <https://doi.org/10.3390/electronics10222791>
7. Mišljenović, N., Žnidarec, M., Knežević, G., Šljivac, D., & Sumper, A. (2023). A review of energy management systems and organizational structures of prosumers. *Energies*, 16(3179). <https://doi.org/10.3390/en16073179>

ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ РЕОСТАТНИХ ВИПРОБУВАННЯХ ТЕПЛОВОЗІВ

Усцов Т.А. – магістрант, ustsov177@sw.uz.gov.ua
Губаревич О.В. – к.т.н., доцент, oleg.gbr@ukr.net
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

USE OF ELECTRICAL ENERGY RECOVERY DURING RHEOSTATIC TESTS OF THERMAL TRUCKS

Ustsov T.A. – master's student, ustsov177@sw.uz.gov.ua
Gubarevych O.V. – candidate of Technical Sciences, Docent, oleg.gbr@ukr.net
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper analyzes the use of typical stationary test stations used in conducting rheostat tests of diesel locomotives in locomotive depots of regional branches "South-Western Railway" "Ukrainian Railway". The technical condition rheostat stations, which are currently used in conducting rheostat tests, was examined. With the aim of rational use of fuel and energy resources, it is proposed to modernize rheostat stations due to the introduction of electric machine installations for recuperation of electricity.*

Keywords: *rheostat tests, diesel locomotives, fuel, electricity recovery.*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення технічного рівня станцій реостатних випробувань, які використовуються в локомотивних депо АТ «Укрзалізниця» при проведенні реостатних випробуваннях тепловозів, з можливістю рекуперації електроенергії. Організація процесу рекуперації надасть можливість, у разі необхідності, забезпечити резервним живленням електроенергії великої потужності власні потреби або передавати перевироблену електроенергію в енергосистему міста.

Метою роботи є проведення аналізу технічного стану станцій реостатних випробувань тепловозів наявних в локомотивних депо АТ «Укрзалізниця». Обґрунтування доцільності модернізації реостатних станцій за рахунок впровадження електромашинних установок для рекуперації електроенергії при реостатних випробуваннях тепловозів. Рекомендації щодо впровадження заходів раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів АТ «Укрзалізниця».

Реостатні випробування покликані забезпечити комплексну перевірку переважної кількості обладнання тепловоза на відповідність всіх показників і параметрів, провести припрацювання деталей для зменшення інтенсивності зношування спарених деталей, виконати налагодження систем для їх спільної

роботи з метою максимізації коефіцієнта корисної дії тепловоза в цілому. Реостатні випробування є одним із найбільш відповідальних етапів в ремонтному циклі і потребують значних затрат часу, палива, матеріалів, високої кваліфікації персоналу.

Випробування тепловоза є завершальним етапом технологічного процесу ремонту. Устаткування, що знаходиться в кузові тепловоза, випробовують на спеціальній випробувальній станції в стаціонарних умовах.

На випробувальних станціях локомотивних депо регіональної філії «Південно-Західна залізниця» АТ «Укрзалізниця» для створення навантаження на тяговий генератор використовується рідинний (водяний) реостат.

Застосування водяних реостатів для стаціонарних випробувань тепловозів викликано необхідністю регулювання і настроювання електричної схеми тепловоза при плавній зміні навантаження дизель-генератора. Основною робочою рідиною водяних реостатів є вода і регульовальні елементи омичного опору – рухомі сталі пластини. При поступовому підніманні пластин із води та опускання їх у воду плавно змінюється сила струму, що виробляється дизель-генераторною установкою. Водяні реостати є простими по конструкції, їх виготовлення не викликає ускладнень і ремонт їх у процесі експлуатації не викликає труднощів. Проте використання рідинного (водяного) реостату має ряд недоліків. Це насамперед швидке зношення пластин, надмірна витрата води, ускладнена експлуатація в зимових умовах.

Для забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів пропонується модернізувати реостатні станції випробувань тепловозів шляхом впровадження електромашинних установок для рекуперації електроенергії.

Основне обладнання рекуперативної установки: силовий 4-машинний перетворюючий агрегат, який складається з двох навантажувальних двигунів, синхронного генератора та його збуджувача.

Під час випробувань на випробувальній станції для створення навантаження на тяговий генератор тепловозу використовується електромашинний агрегат, що входить в комплект установки з рекуперацією електроенергії. Після встановлення позиції контролера машиністом тепловозу і регулюючи збудження навантажувального двигуна, вмикається силовий автомат. При цьому навантажувальний двигун приймає навантаження, достатнє для того, щоб синхронний генератор перейшов з режиму двигуна в генераторний режим та почав віддачу виробленої електроенергії в мережу.

Таким чином, установка для рекуперації електроенергії стаціонарного типу перетворює електричну енергію постійного струму, що виробляється дизель-

генераторами тепловозів, в електроенергію змінного трифазного струму напругою 6 кВ, частотою 50 Гц з віддачею її в енергосистему міста.

Висновок. Запропонована модернізація станції випробувань тепловозів шляхом впровадження установки для рекуперації електроенергії дозволить забезпечити повний технологічний процес випробувань тепловозів після проведення ремонту та виробляти електричну енергію, яку локомотивне депо зможе акумулювати та використовувати для власних потреб

Л і т е р а т у р а

1. Технічне обслуговування та поточний ремонт тепловози серій ЧМЕЗ в/і. СТП 04-077:2022. Правила. СП «ПКТБ» філії «НДКТІ» АТ «Українська залізниця». Київ: видавець: АТ «Українська залізниця». 2022. 381 с.
2. Технічне обслуговування та поточних ремонтів тепловозів М62, 2М62, М62У, 2М62У. Правила. СП «ПКТБ» філії «НДКТІ» АТ «Українська залізниця». Київ: видавець: АТ «Українська залізниця». 2012. 269 с.
3. Правила технічного обслуговування і поточного ремонтів тепловозів 2ТЕ116. Правила. СП «ПКТБ» філії «НДКТІ» АТ «Українська залізниця». Київ: видавець: АТ «Українська залізниця». 2013. 326 с.
4. Куроп'яткин О.С. Науово-технічний прогрес на транспорту. Тези доповідей. Дніпро: ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна. 2018. 130 с.
5. Бондар Б.Є., Капіца М.І., Боднар Є.Б., Очкасов О.Б. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства. Підручник. Дніпро: видавець: Український державний університет науки і технологій, 2022. 222с.
6. Українська державна академія залізничного транспорту. Питомі витрати палива при реостатних випробуваннях тепловозних дизелів усіх типів тепловозів після поточних ремонтів ПР-1, ПР-2, ПР-3: Інструкція ЦТ-0131. Ібрагімов С.О. та ін. Київ: видавництво ТОВ «ВД «Мануфактура», 2006. 28с.
7. Електронне видання. Збірник наукових праць студентів та магістрів. Випуск 18. Харків: УДУЗТ. 2020. 322 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОСТИКИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО І ТЕПЛОВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Філімоненко К.В. – к.т.н., доцент, eltech.filimonenko@gmail.com

Філімоненко Н.М. – к.т.н., доцент, kostiantyn.kun@gmail.com

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
Україна, Київ*

STUDY OF THE POSSIBILITY OF DIAGNOSTIC HIGH VOLTAGE EQUIPMENT WITH THE HELP OF ULTRAVIOLET AND THERMAL VISION CONTROL

Filimonenko K. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., eltech.filimonenko@gmail.com

Filimonenko N. – Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., kostiantyn.kun@gmail.com

*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *The paper analyzes the possibilities of using thermal imaging and UV control methods for diagnosing high-voltage equipment. Joint ultraviolet and thermal inspection using multispectral cameras with an extended range of 180-1100 nm allows combining images of IR, UV and visible spectra, which will significantly increase the probability of detecting defects of almost any equipment during operation. Voltage and under load. Mobile systems for technical diagnostics of the electrical condition of the system are of decisive importance here.*

Keywords: *High-Voltage Equipment, Thermal Imaging Control, UV Control, Multispectral Camera*

Актуальність дослідження полягає в тому, все гостріше постає питання про побудову максимально ефективної системи діагностування та прийняття рішень щодо доцільності подальшої експлуатації електрообладнання та реалізації стратегії технічного обслуговування та ремонту, не дивлячись на значний термін експлуатації переважної більшості (за деякими даними більше 90 %) силового електрообладнання електричних станцій та підстанцій (ПС) України [1]. Визначальне значення тут мають мобільні системи технічного діагностування електричного стану системи.

Метою роботи є дослідження можливостей діагностування високовольтного обладнання зі спільним проведенням ультрафіолетового (УФ) та тепловізійного контролю.

Сукупність нагрітих струмопровідних частин, контактних з'єднань, ізоляційних, феромагнітних матеріалів та конструктивних елементів електроустановки чи її частини формує температурне поле [2].

Енергія цього поля частково відводиться в навколишнє середовище у вигляді оптичного спектру. Це спектри електромагнітного випромінювання в

ІЧ, видимому і УФ діапазонах шкали електромагнітних хвиль. Інфрачервоне випромінювання має довжину хвиль $\lambda=1,03 \div 0,74$ мкм, видиме випромінювання $\lambda= 0,74\div0,40$ мкм, ультрафіолетове випромінювання $\lambda= 0,40\div0,01$ мкм.

Найбільш поширений є тепловий (тепловізійний) метод діагностики, суть якого полягає в дистанційній реєстрації температурного поля на поверхні контрольованого обладнання вимірювальної апаратурою, побудовою та аналізом термограм для виявлення та класифікації дефектів та прийняття рішення щодо подальшої експлуатації обладнання.

В якості критеріїв оцінки технічного стану струмопровідних з'єднань передбачаються:

- перевищення температури – різниця між виміряною температурою нагріву та температурою навколишнього повітря;
- надлишкова температура – перевищення виміряної температури контрольованого вузла над температурою аналогічних вузлів, що у однакових умовах;
- коефіцієнт дефектності (K_d) – відношення виміряного перевищення температури контактного з'єднання до перевищення температури, виміряному на ділянці шини (проводу), що віддаляється від даного контактного з'єднання на відстані не менше 1 м.

Неодмінною умовою розрахунку цих критеріїв є знання струмового навантаження $I_{роб}$ контрольованого обладнання та значення номінального струму $I_{ном}$. Наведені в нормативній документації допустимі значення перевищення температури розраховані для номінального струму $I_{ном}$, тому виміряне значення перевищення температури $T_{вим}$ слід призвести до номінального струму через співвідношення:

$$T_{ном} = T_{вим} \left(I_{ном} / I_{роб} \right)^2.$$

Це співвідношення можна використовувати при вимірі перевищення температури при струмах навантаження $(0,6\div1,0) I_{ном}$. При струмах навантаження $(0,3\div0,6) I_{ном}$ як норматив слід використовувати значення температури $T_{0,5}$, перераховане до $0,5 I_{ном}$:

$$T_{0,5} = T_{вим} \left(0,5 I_{ном} / I_{роб} \right)^2.$$

Тепловізійні обстеження електрообладнання при струмах навантаження менше $0,3 I_{ном}$ не рекомендується проводити, оскільки таке навантаження не сприяє виявленню дефектів особливо на ранній стадії їх розвитку.

У випадку, коли надмірна температура знаходиться в межах 5°C - 10°C , це оцінюється як початкова стадія несправності та слід вживати заходів щодо її усунення під час запланованого ремонту.

Надмірна температура в 10°C - 30°C оцінюється як дефект, що розвинувся, який слід усувати при найближчому виведенні електроустаткування з роботи.

Якщо надмірна температура перевищує 30°C , це оцінюється як аварійна ситуація, що вимагає негайного усунення дефекту[3].

Використання УФ контролю для оцінки стану обладнання ПС поширене меншою мірою, оскільки фахівці часто не знають, на які елементи звернути увагу і як інтерпретувати отриманий результат.

Взагалі завдання інфрачервоного (ІЧ) та УФ контролю в енергетиці однакове: виявити аномалії, які можуть бути ознаками несправності устаткування. Тепловізори, вони ж ІЧ-камери ведуть зйомку в невидимій червоній частині спектру, а УФ-камери – у протилежній частині спектру.

Найбільшу поширеність ультрафіолетовий контроль отримав у сфері експлуатації повітряних ліній (ПЛ). Методи УФ контролю показують хороші результати при виявленні коронних розрядів, при виявленні дефектів дроту та ізоляторів. У відкритому розподільному пристрої можуть бути перевірені наступні прилади та обладнання: опорні порцелянові та полімерні ізолятори, роз'єднувачі і вимикачі, обмежувачі перенапруг, розрядники, фарфорова зовнішня ізоляція вимикачів, трансформатори напруги, трансформатори струму, конденсатори зв'язку, підвісні ізолятори, місця з'єднання гнучкої та жорсткої шини, кінцеві муфти кабельних перемичок 6-35 кВ.

Але на відміну від ІЧ-камер, ультрафіолетові камери високої роздільної здатності не бачать звичайних предметів (рис.1).

Істотною перевагою застосування УФ контролю є те, що при обстеженні не потрібно наявності струмового навантаження струмопровідних частин, щоб виявити дефект. Для проведення контролю достатньо, щоб обладнання знаходилося під робочою напругою.



Рисунок 1 – Ультрафіолетова камера у порівнянні зі звичайною та інфрачервоною

Саме тому ультрафіолетовий моніторинг – це доповнення ІЧ-моніторингу, а не його заміна [4]. УФ-камера показує можливе місце пошкодження та

безпечна у використанні завдяки великій дальності зйомки. В даний час це найдешевший спосіб швидкого обстеження відкрито розміщеного високовольтного обладнання. Альтернативою є зняття обладнання для тестування або створення розумної електромережі з безліччю датчиків. Але УФ-зйомка не може виявити всі несправності, наприклад, нагрівання, пов'язане з поганим контактом і витоком струму. Тому перспективним уявляється використання мультиспектральних камер розширеного діапазону 180-1100 нм, наприклад трьохспектральна ультрафіолетова камера UFIR-104.

Дана камера є багатофункціональним пристроєм, що дозволяє отримувати зображення відразу в інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазоні. Завдяки можливості поєднання зображень ІЧ, УФ та видимого спектру, це обладнання може бути використане при обстеженні високоенергетичних об'єктів, таких як електростанції або ЛЕП, а також промислові та наукові установки, пов'язані з проявом енергії великої потужності, на предмет виявлення в них різних дефектів та прихованих ушкоджень (рис. 2).

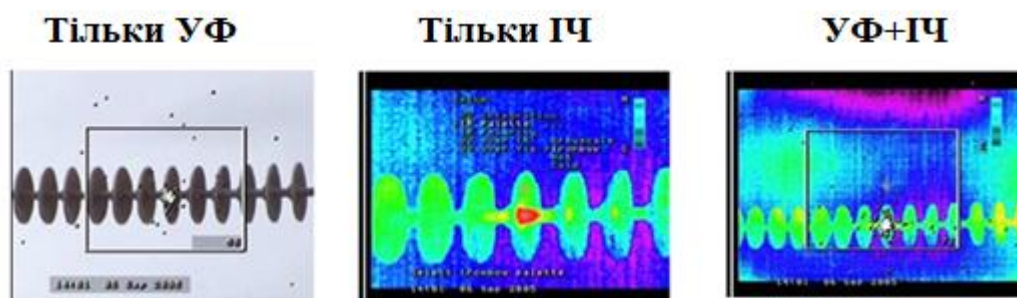


Рисунок 2 – Приклад відображення об'єкта контролю в УФ, ІЧ та УФ+ІК спектрах.

Спільне проведення ультрафіолетового та тепловізійного контролю дозволить суттєво підвищити ймовірність виявлення дефектів практично будь-якого обладнання на робочій напрузі та під навантаженням. Крім традиційних сфер застосування (контроль ПЛ, ПС), ультрафіолетовий контроль може бути використаний для діагностики та в інших галузях електроенергетики.

Висновок. В результаті виконаного аналізу встановлено, що перспективним напрямком є використання одночасного тепловізійного та ультрафіолетового контролю високовольтного обладнання завдяки застосуванню мультиспектральних камер розширеного діапазону 180-1100 нм.

Л і т е р а т у р а

1. Кутін В.М., Шпачук О.О., Нікітчук М.В., Світко В.М. Автоматизація аналізу теплового стану електрообладнання // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2018. № 3. С. 51-56.
2. Удод Є.І., Горбей Р.М., Чернов В.Ф., Діагностування електроустановок 0,4-750 кВ засобами інфрачервоної техніки. Київ: Україна: «КВІЦ», 2007. 370 с.

3. Абрамов В.Б., Бржезицький В.О., Проценко О.Р. Приймальні та експлуатаційні випробування електроустаткування: посібник. Київ.: НТУУ «КПІ», 2015. 235 с.
4. Lin Cui, Changfu Xu., Jiagui Tao, Ye Wei., Xiang Li. Development of infrared and ultraviolet detection technology in electric power system. // Proceedings of the 2016 International Conference on Materials, Manufacturing and Mechanical Engineering (MMME 2016). 2016, pp. 250-257..

LOAD CURVE SMOOTHING IMPACT ON WIND AND PHOTOVOLTAIC SOURCES PENETRATION IN THE NATIONAL ELECTRICITY SYSTEM

Comendant I.T. – Doctor of Technical Sciences, ion.comendant@ie.utm.md

Prepelita Iu.M. – Research assistant, iulia.prepelita@ie.utm.md

Turcuman L.V. – Research assistant, lilia.turcuman@ie.utm.md

*Institute of Power Engineering of Technical University of Moldova
Republic of Moldova, Chisinau*

Abstract. *The Republic of Moldova is tempted to introduce differentiated tariffs, lacking now in the power sector, leading to smoothing daily load curve. In this respect, the question arises whether the smoothing of load curve would produce important change of power demand coverage Degree by wind (WF) and photovoltaic (PV) sources tandem, which cannot exceed the level of about 70% under the conditions the electricity produced by this tandem is equal to the annual power demand. The study revealed that even 50% of the electricity consumed during peak hours are transferred to off-peak hours, the Degree of demand coverage remains insignificantly modified, and for the smoothing level of 0-50%, the Degree of demand coverage by WF+PV varies in the range of 70-73% depending on the year examined.*

Keywords: *wind source, photovoltaic source, power demand, load curve smoothing, 100%RES*

Relevance of the work consists in identifying how the shape of the load curve may impact the absorption of the energy produced by wind and photovoltaic sources in the scenario of full coverage of the power demand from these sources, an approach not found in the specialized literature.

Research Purpose is to determine how the smoothing of the load curve may influence the Degree of wind and photovoltaic sources penetration in the national electricity system in the absence of Energy Storage Systems (ESS).

In other words, the task may be formulated as follows. For the 100%RES concept, both the hourly value of electricity produced by wind (WF) and photovoltaic (PV) sources for the years 2014-2018 and the hourly electricity consumption curve at national level throughout the year are known, the latter being created in the absence of differentiated (zonal) tariffs. It is needed to find to what extent the introduction of differentiated tariffs will affect the Degree of electricity demand coverage by the tandem of wind and photovoltaic sources. It is assumed that the introduction of differentiated (zonal) tariffs will lead to the smoothing of the daily electricity consumption curve with respective impact on absorption capacity of the electricity coming from the WF+PV tandem. In the sense of the formulated task, the following notions are introduced:

n - the level of smoothing the load curve determined as the percentage of electricity transferred from peak hours to off-peak hours, %;

z - share of photovoltaic electricity in the amount of electricity produced by the WF+PV tandem, %;

G - Degree of electricity demand coverage by the WF+PV tandem in the 100%RES scenario, %;

$G = f(n, z)$ stays to be determined. Once the last is identified, one will find the maximum value of G for the related data series n and z for each of all five consecutive years under consideration.

It should be mentioned that in the concept annual electricity demand is equal to annual electricity produced by WF+PV, the coverage of the annual load curve by these RES cannot exceed approx. 70% [1], the remaining 30% followed by traditional sources, such as gas turbines or generators based on internal combustion engines, or by the storage systems which would accumulate RES electricity and then delivery it in the system in the adequate hours.

To achieve the objective formulated, the following input data is used:

a) The hourly power demand recorded in the Republic of Moldova in 2014. To avoid the influence of other factors on the study, then ones that may determine the conditions to produce wind and photovoltaic electricity, the load curve of 2014 is kept intact for the years 2015-2018 as well.

b) The hourly electricity production curves of WF and, separately, PV sources recorded in the years 2014-2018 in the Romania power system [2], as in the Republic of Moldova there is no representative data set is available. At the same time, the weather conditions in the Republic of Moldova are roughly equivalent to those in Romania. Thus, the Capacity Factor used by National Energy Regulatory Agency [3] when calculating fixed tariffs and ceiling prices are equal to 15% for photovoltaic sources and 30% for wind sources, while in Romania the average values of these parameters for the five years considered above recorded 17% and 30%, respectively, and in 2014 – 15% for photovoltaic sources and 30% for wind sources in 2017.

The hourly electricity generation by WF and PV from Romania were returned to the conditions of the Republic of Moldova, using the equality between wind electricity and, separately, photovoltaic electricity, the national electricity demand. This equality also figures out the maximum power of WF and PV.

c) Hourly tariff zones set up in Ukraine.

The smoothing of load curve for each day of the year is carried out by transferring the electricity from the peak hours to the off-peak hours, evenly distributed, while the one from the semi-peak hours remains unchanged. It should be noted that the smoothing is performed separately for each day of the year, and the hourly electricity produced by WF and PV is examined from the position of its

possible absorption by the modified electricity demand in that hour. The simulation of the dependence $G = f(n, z)$ is performed in Excel format.

The results obtained: For the years 2014-2018, the values of $G = f(n, z)$ function on concrete n and z input is illustrated in Figure 1, average of five years considered.

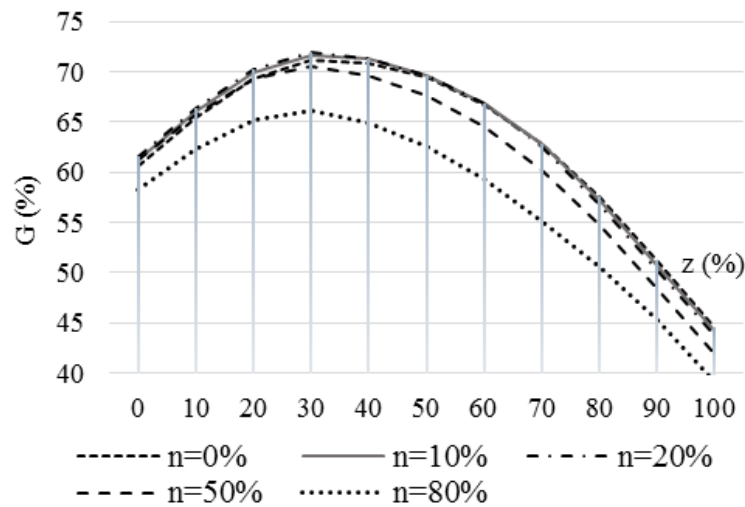


Figure 1 – The dependence of electricity demand coverage degree (G) on both the share of photovoltaic electricity (z) in the amount of power produced by WF+PV tandem and the level of load curve smoothing parameter (n).

As we can see from Figure 1, under the conditions the annual electricity demand is equal to the electricity produced by the WF+PV tandem, the maximum demand coverage degree G , in all the five years examined, is approximately 70-73% and is reached for the z value equal to about 30%, regardless of load curve smoothing level, varied within the limits of 0-50%. This can be explained by the fact that at the annual level, the production of wind and photovoltaic energy is predetermined by the weather conditions of each country.

The calculation showed, the same result is obtained for the case when the daily load curve per each day of the year is flat, i.e. the load is constant and ensures the electricity consumption on that day equal to that normally consumed.

As further analysis showed, the case can be elucidated by examining the comparison of annual hourly electricity demand against annual hourly electricity production by WF and PV separately and combined. According to Figure 2, where the appropriate characteristics are presented for the specific year 2014, the transfer of electricity from the peak hours (8-10 and 17-22, varied according to the season) to the night hours (1-6 and 23-24, varied according to season) while maintaining intact (dotted curves) demand coverage in the 10-17 interval, leads to the increase of the capacity to cover the demand during the peak hours, but also to the decrease of the capacity to cover the demand during the off-peak hours (compare the discrepancy between demand and generation during these hours). Practically the same phenomenon occurs in the case when electricity demand is flat throughout the day.

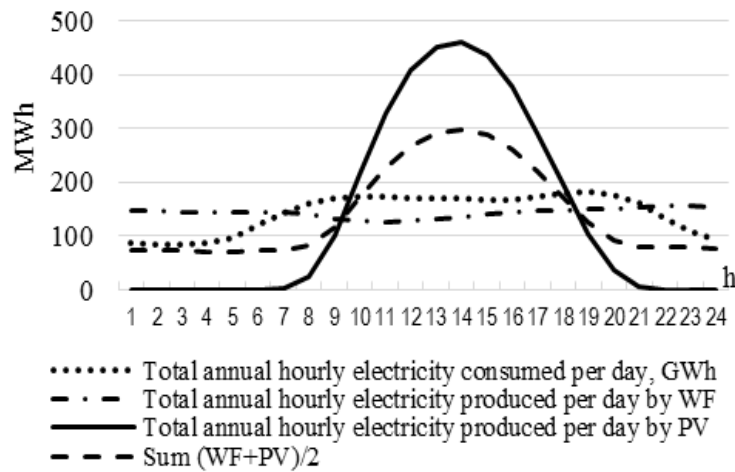


Figure 2 – Annual hourly electricity demand and power production by WF+PV in 2014.

In other words, the increase in WF+PV capacity to cover demand during peak hours is compensated by the decrease in WF+PV capacity to cover demand during off-peak hours when applying the smoothing of the load curve by transferring electricity from peak hours to off-peak hours.

Conclusions. The Republic of Moldova is tempted to ensure its electricity security by achieving the 100%RES scenario, mainly by promoting wind and photovoltaic sources. This scenario, however, can ensure the coverage of the electricity demand at the level of only about 70%, in the conditions the annual electricity demand is equal to annual WF+PV electricity generation and electricity storage systems are absent in the system. At the same time, the country is on the way to introducing differentiated tariffs for electricity, which is missing now. They could influence the coverage of electricity demand from WF and PV. In this sense, the present study reveals the following:

1. The smoothing of the load curve by reducing the electricity consumed in peak hours with its subsequent consumption in off-peak hours leads to an insignificant change in the Degree of demand coverage by WF+PV, considered in the amount of about 70%. Even if 50% of the electricity consumed during peak hours were transferred to off-peak hours, the degree of demand coverage remains insignificantly modified, and for the smoothing level of $n=0-50\%$, the degree of demand coverage varies in the range of 70-73% depending on the year examined, 2014-2018. Two reasons explain this phenomenon. On the one hand, the weather conditions for the semi-peak hours remain unchanged for all five years examined, on the other hand - once the electricity demand in the peak hours decreases, the capacity of wind and photovoltaic sources to cover the remaining demand increases and vice versa, during off-peak hours this capacity decreases, thus roughly compensating peak gain.

2. Changing the load curve smoothing level n does not influence the share of photovoltaic electricity z in the value of the electricity produced by the WF+PV tandem which ensures the maximum of the electricity demand coverage degree G by this tandem. This value of z is equal to about 30%. This can be explained by the fact that at the annual level the production of wind and photovoltaic energy is predetermined by the weather conditions of each country.

R e f e r e n c e s

1. Comendant, I., Prepelita Iu., & Turcuman, L. (2019). Deploying Renewable Energy Sources and Energy Storage Systems to Achieve Energy Security in the Republic of Moldova. In: *Annals of the University of Craiova*, Electrical Engineering series, №43, Issue 1, ISSN 1842-4805.
2. "Transelectrica" SA. Production, consumption and SEN balance graphs. Available at: https://www.transelectrica.ro/widget/web/tel/sen-grafic/-/SENGrafic_WAR_SENGraficportlet
3. ANRE Decision №106/2024 on fixed tariffs and ceiling prices for electricity produced from renewable energy sources.

HEAT PUMPS USE IN ENERGY TRANSITION

Sit M.L. – PhD, mihail.sit@gmail.com

Juravliov A.A. – PhD, a_jur.ie.utm.md

Timchenko D.V. – engineer, dmitri.timcenco@ie.utm.md

Lupu M.L. – scientific researcher, mihu.lupu@gmail.com

Uzun G. – engineer, galic2@yandex.ru

*Institute of Power Engineering of the Technical University of Moldova
Republic of Moldova, Chisinau*

Abstract. *The gas engine driven carbon dioxide heat pump designed for providing the heat, cold and electricity for industrial poultry house is proposed. The scheme differs from the known by using recuperative heat exchanger installed between the exhaust air duct of poultry house and heat pump evaporator and the heat curtain installed on the air duct after the evaporator. The air coming into the poultry house after the regenerative heat exchanger is supplied to the heat pump gas cooler. The heat pump produces heat of the required parameters of the input air and water for watering of poultry, space heating, etc. Heat pump compressor is driven by gas engine (GPA), by natural gas or biogas. The part of the gas-piston engine gas heat is used for adjusting the optimal heat pump mode and for regeneration of the absorbent in an evaporative cooler. The proposed technical solution of the above scheme provides a higher COP of the heat pump. Installing of heat curtain does not require the use of non-freezing solution to prevent icing of the air outlet of heat pump evaporator. The latter allows producing, besides electric power and heat, still cold (with the use off the adsorption-refrigerating machine) and provide drying air inlet evaporative cooler (if necessary).*

Keywords: *heat pump, evaporative cooler, poultry house, gas drive, energy efficiency*

Relevance of the work is conditioned by necessity of growth of energy efficiency in agriculture.

Research Purpose. Energy transition represents a global process of shifting from the use of fossil fuels and other polluting and unsustainable energy sources to utilizing renewable and cleaner energy sources such as solar energy, wind energy, hydroelectric power, geothermal energy, or non-polluting nuclear energy. Republic of Moldova aims to establish a competitive and sustainable energy sector, including from an environmental perspective, integrated into European energy infrastructure and markets, ensuring an adequate level of energy security, so that consumers can have continuous access to affordable energy. To achieve these objectives, the Republic of Moldova has committed to align its policies with the overall objectives of EU energy and environmental policies. The paper examines schemes for generating thermal energy in the agro-industrial complex using heat pumps. We consider two examples: poultry farming (a structure with high thermal inertia), protected soil technologies (structures with low thermal inertia).

The aim of this part of the work is to develop the energy efficient schemes for energy supply of the industrial greenhouse designed for year-round production of

plants that requires year round maintenance of strongly prescribed temperature and humidity inside. We have been elaborated the complex "gas driven heat pump "water-air" – electric generator" (for use during the heating season) as well as the "gas driven heat pump "water-air" – electric generator – desiccant – evaporative chiller" (for use during the off-season). Proposed structures have a high energetic and economic efficiency as compared with conventional schemes (boiler - chiller).

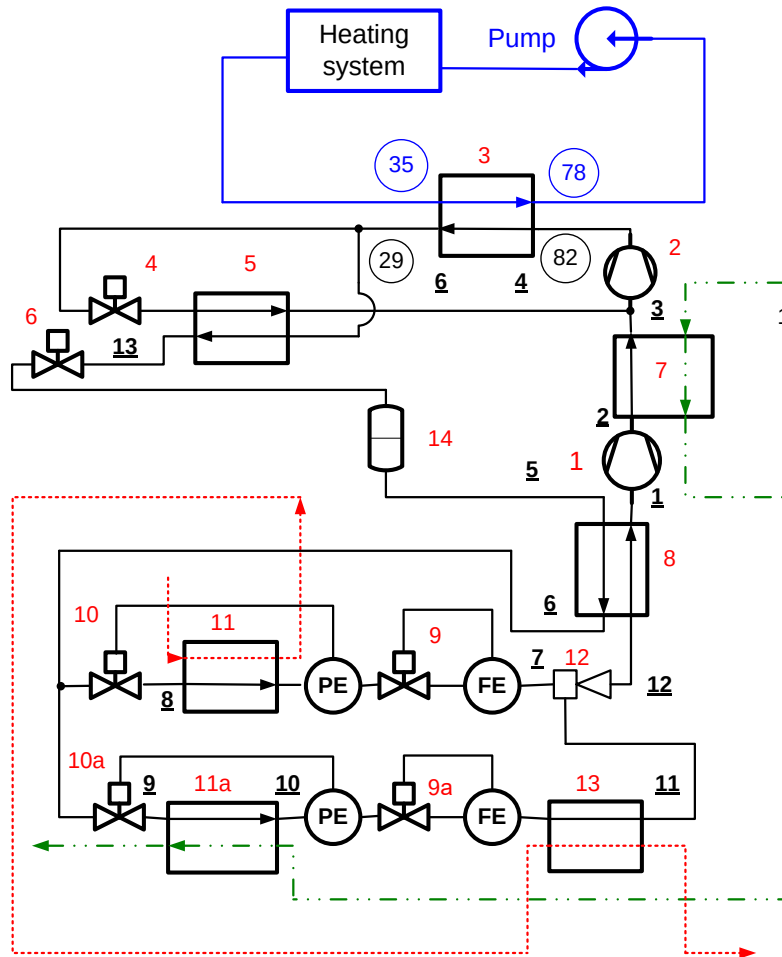


Figure 1 – Heat pump with two single-stage compressors and gas engine waste heat utilization system. 1,2 - compressor; 3- gas cooler; 4- regulating valve; 5 - heat recuperator; 6- the pressure regulation valve of the second stage of the compressor; 7 - gas cooling exchanger at the output of the first stage of the compressor; 8 - heat exchanger - recuperator; 9, 9a - valves for regulating the flow of refrigerant passing through the evaporators; 10, 10a - regulators for overheating the refrigerant steam coming out of the evaporators; 11, 11a – evaporators; 12 – ejector; 13 - the heat exchanger for heating the air leaving the evaporator; 14 - tank - liquid separator. Pipes through which the heat of the gas engine is evacuated are marked in red, outside air in green, heating system in blue. The numbers in red color – the name of the devices, the underlined numbers – the characteristic points of the thermodynamic cycle used.

The proposed complex ensures year-round maximum COP of heat pump and maximum performance of gas engine.

The paper presents the electricity, heat and cold supply system of the industrial greenhouse. The system includes the piston gas engine, which is coupled to the compressor of the air-to-water heat pump. The pump has carbon dioxide as its working body. Heat pumps in which the gas engine drives the compressor and the electric generator are described in [1-6]. Heat pumps using a piston gas engine to drive the compressor according to the set of indicators "primary energy use" and "CO₂ emission" are comparable to those with electric drives used in the climatic conditions characteristic of Central Europe.

Notations, see figure 1 and additionally in figure 2 the following elements are presented: 14 – rotary air dryer, IEC – indirect evaporative cooler, DEC – direct evaporative cooler. Green lines show the circulation trajectory of the airflow, blue – of water. The air, which passes through the gas cooler section 3, is the mixture of two flows, which presents the flow formed by the air from outside and the air evacuated from the greenhouse. According to [15,16] the COP of the thermodynamic cycle of the installation shown in figure 1 for the outside temperature minus 16°C is 2.8, and for the value of the outside air temperature equal to 1°C it is 4.0.

In this part, the gas engine driven carbon dioxide heat pump designed for providing the heat, cold and electricity for industrial poultry house is proposed. The scheme differs from the known by using recuperative heat exchanger installed between the exhaust air duct of poultry house and heat pump evaporator and the heat curtain installed on the air duct after the evaporator. The air coming into the poultry house after the regenerative heat exchanger is supplied to the heat pump gas cooler. The heat pump produces heat of the required parameters of the input air and water for watering of poultry, space heating, etc. Heat pump compressor is driven by gas engine (GPA), by natural gas or biogas. The part of the gas-piston engine gas heat is used for adjusting the optimal heat pump mode and for regeneration of the absorbent in an evaporative cooler. The proposed technical solution of the above scheme provides a higher COP of the heat pump. Installing of heat curtain does not require the use of non-freezing solution to prevent icing of the air outlet of heat pump evaporator. The latter allows producing, besides electric power and heat, still cold (with the use of the adsorption-refrigerating machine) and provide drying air inlet evaporative cooler (if necessary).

The use of regenerative and recuperative heat exchangers, contact heat exchangers with intermediate coolant, heat exchangers on heat pipes, heat pumps complete with non-freezing heat utilisers is known for power supply of poultry enterprises [1,2].

The peculiarity of the technical solution described in [1] is the presence of a complex scheme of connection between the heat pump and recuperative heat exchangers, as well as low SOR of the heat pump, due to the use of intermediate

coolant with low temperature for heat transfer from the air to the evaporator of the heat pump. In [2] a recuperative heat exchanger for use in poultry houses is proposed, which is designed for application in territories with warm climate.

The set goal is achieved by: use of heat pump on natural heat carrier, carbon dioxide, application of heat curtain on the exhaust pipe instead of heat exchanger with non-freezing heat carrier, and also evaporative coolers included in the scheme of heat pump for use in transition and summer period, and, besides, use of gas-piston engine (GPA) as a means for increase of SOR of heat pump.

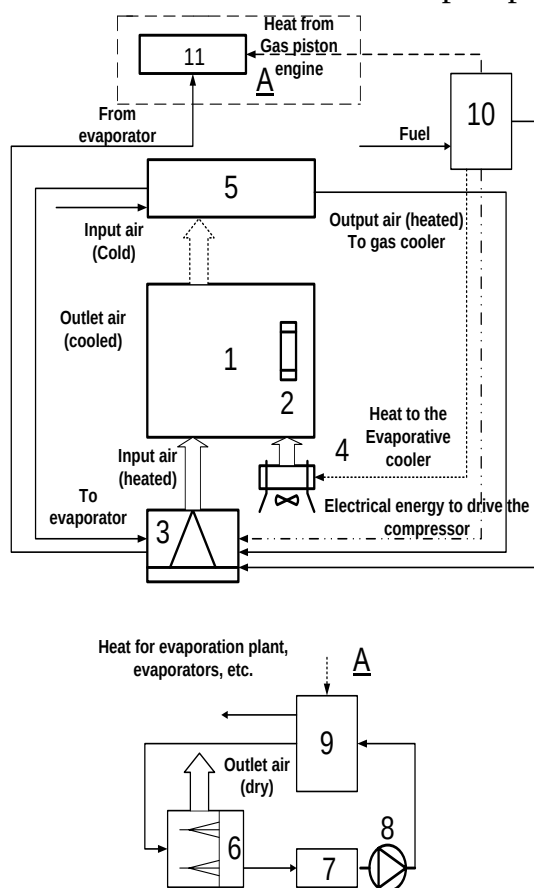


Figure 2 – Scheme of heat pump use in a poultry house:

1 – Poultry housing, 2 – Evaporative coolers for indoor operation, 3 – Heat pump
4 – Evaporative cooler for air cooling (applied due to the fact that the heat capacity of the heat pump evaporator is insufficient to cool the room, 5 – recuperative heat exchanger, 6 – irrigation chamber for moisture removal from the output air, 7 – tank - accumulator for polyethylene glycol, 8 – pump, 9 – evaporation chamber for removing moisture from the intermediate solution (PEG), 10 – gas piston plant, 11 – heat curtain, A – variant of the solution of the problem of prevention from freezing of the exhaust pipe of the recuperator with the use of non-freezing intermediate heat carrier (for the purpose of air drying)

Features of poultry farming enterprises are as follows: dependence of energy consumption on type and age of poultry, climatic conditions, thermal characteristics of enclosing structures of premises, which requires the heat pump to work with variable heat and cooling load, for coordination of which evaporative coolers are needed, as well as participation in the process of regulating the mode of gas-piston engine used as a compressor drive.

Conclusions.

1. The proposed scheme of the installation with the two-stage heat pump with actuation from the gas engine of the compressor allows ensuring the regime of maintaining the climate at the prescribed parameters in the greenhouse throughout the year.

2. For the first time, the cogeneration type scheme of heat pump installations and refrigerating installations where the operation is done only as a result of gaseous fuel combustion processes was elaborated and analyzed.

3. To maintain the microclimate in the warm season, it is beneficial to use the combined heat pump. The most effective is the use of the heat pump in the refrigerating machine mode in combination with indirect evaporative cooling and with elements of the adsorption refrigerating machine. In this case, the exhaust heat from the gas engine and condenser of the refrigerating machine can be used to power the sorption refrigerating machine. This complex can be used to store agricultural products.

R e f e r e n c e s

1. Grenishen N.T. [Energy-saving installation of the microclimate in the poultry-house with nonfreezing heat utilizer. PhD thesis] “Energoberegaiuschaia ustanovka mikroklimata v ptichnikakh s nezamerzaiuschim utilizatorom teploty”, Kiev 1985.

2. Big Dutchman International GmbH. Heat Exchanger Earny type 40 000. <https://cdn.bigdutchman.pl/fileadmin/content/poultry/products/en/poultry-production-heat-exchanger-Earny-Big-Dutchman-en.pdf> (accessed 11.04.2016)

3. Mailan E. [Microclimate in poultry house]. Mikroklimat v broilernom ptitsevodstve. <http://www.tehkorm.ru/publikatsii/ptitsevodstvo/mikroklimat-dlya-broilerov.html> (accessed 21.04.2016).

4. Zhi-Gao Sun. A combined heat and cold system driven by a gas industrial engine. Energy Conversion and Management 48 (2007) 366–369.

5. Yang Zhao, Zhao Haibo, Fang Zheng. Modeling and dynamic control simulation of unitary gas engine heat pump. Energy Conversion and Management 48 (2007) 3146–3153.

6. Teitel M., Segal I., Shklyar A., Barak M. A Comparison between Pipe and Air Heating Methods for Greenhouses. J. Agric. Engng Res. (1999) 72, 259-273.

**СЕКЦІЯ 5: МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ТА
ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ**

**SECTION 5: MODELING, OPTIMIZATION AND FORECASTING
IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS**

**РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ГРЕБНОГО
ЕЛЕКТРОДВИГУНА ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Алексєєв Н.О. – бакалаврант, *nikitaalexeiev745@gmail.com*

Кириченко О.С. – к.т.н., доцент, *oskrychenko@gmail.com*

Київський інститут водного транспорту

імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

**SPEED REGULATION OF THE ELECTRIC MOTOR OF THE DC
ELECTRIC PROPULSION SYSTEM**

Aleksieiev N.O. – bachelor's student, *nikitaalexeiev745@gmail.com*

Kyrychenko O.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
oskrychenko@gmail.com

Kyiv Institute of Water Transport

named after Hetman Peter Konashevich-Sagaidachny

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *Three main methods of controlling the angular velocity of a propeller motor of a DC electric propulsion system are noted, namely: by changing the voltage supplied to the propeller motor; by changing the magnetic flux of the poles, i.e., by changing the excitation current; by changing the resistance in the armature circuit, i.e., by introducing additional resistance into the armature circuit. It is noted that the first of these methods is the most common in DC electric propulsion systems; the second is used less often; the third is practically not used. An example of a circuit for controlling the speed of a DC electric propulsion motor in a generator-motor system is shown, in which the excitation windings of the generator and the propulsion motor are connected to separate potentiometric rheostats.*
Keywords: *regulation, speed, generator-motor system, rowing electric motor, direct current rowing electric installation*

Актуальність дослідження пов'язана з експлуатацією на морському та внутрішньому водному транспорті суден з гребними електричними установками (ГЕУ) постійного струму. ГЕУ постійного струму

характеризуються можливістю широкого та плавного регулювання кутової швидкості гребного електродвигуна, тобто кутової швидкості гребного гвинта. Через це ГЕУ постійного струму широко використовуються на судах, що мають високі маневрові якості. Такими суднами є пороми, рейдові буксири, криголами, пожежні і рятувальні судна. В якості гребних електродвигунів і генераторів ГЕУ постійного струму застосовуються електричні машини постійного струму незалежного збудження [1, 2], а в якості приводних двигунів – в основному дизелі.

Метою роботи є аналіз регулювання частоти обертання гребного електродвигуна ГЕУ постійного струму способом зміни величини напруги, що підводиться до електродвигуна.

Установка, в якій рушій приводиться в рух електродвигуном, називається гребною електричною установкою (ГЕУ) [3-5]. Приводні двигуни РМ1, РМ2 (рис. 1) і генератори встановлені в машинному відділенні. Напруга, яка виробляється генераторами, через кабелі подається до гребного електродвигуна М, що встановлений у кормовій частині судна. Електричні генератори можуть бути з'єднані як паралельно (рис. 1, а), так і послідовно (рис. 1, б). Часто використовують двоякірні електродвигуни М1 і М2, коли два електродвигуни (рис. 1, в) встановлені на спільному валу.

Якщо кожен із генераторів виробляє напругу 600 В, то до двоякірного електродвигуна підведено напругу 2400 В і, відповідно, на кожен із двигунів М1 і М2 надходить напруга 1200 В.

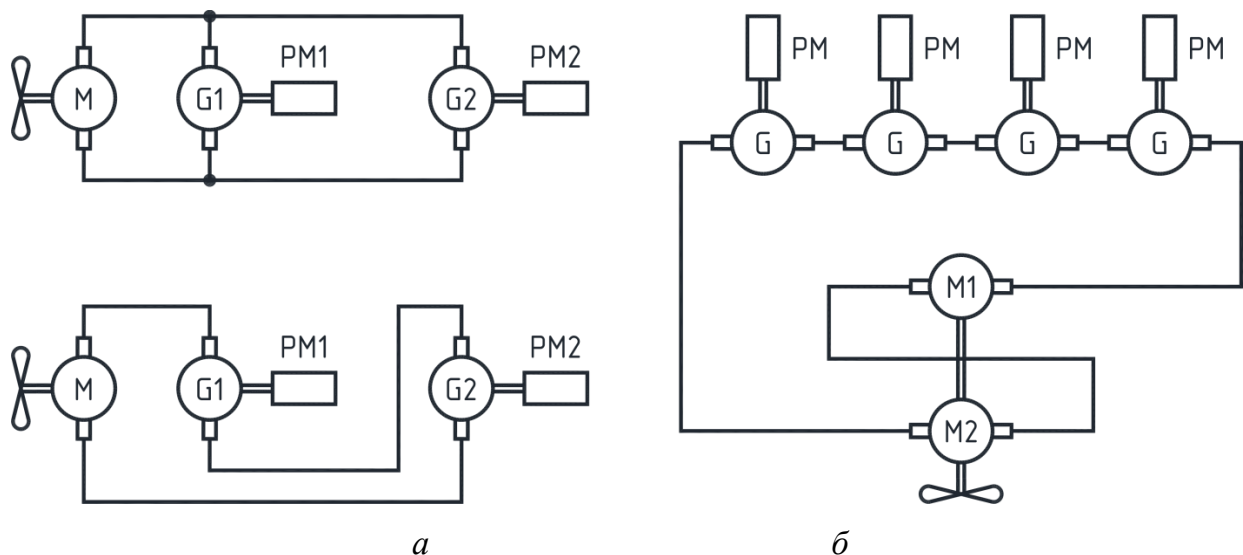


Рис. 1 – ГЕУ постійного струму з паралельним та послідовним з'єднанням генераторів G1 і G2 (а), з двоякірними електродвигунами М1 і М2 (б):
 М, М1, М2 – гребні електричні двигуни; G, G1, G2 – генератори;
 РМ, РМ1, РМ2 – первинні двигуни

Способи регулювання кутової швидкості гребного гвинта ГЕУ постійного струму обумовлені регульовальними властивостями двигуна постійного струму.

Напруга, що прикладається до якоря електродвигуна, врівноважується його проти-ЕРС і падінням напруги в якорі:

$$U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}, \quad (1)$$

де $I_{\text{я}}$ – струм якоря електродвигуна;

$R_{\text{я}}$ – опір кола якоря електродвигуна.

З іншого боку, проти-ЕРС двигуна пропорційна його кутовій швидкості та магнітному потоку полюсів:

$$E = c_e \omega \Phi, \quad (2)$$

де c_e – коефіцієнт пропорційності;

ω – кутова швидкість якоря двигуна, рад/с;

Φ – магнітний потік полюсів машини, Вб.

Величина коефіцієнта c_e визначається конструктивними параметрами двигуна:

$$c_e = \frac{p}{2\pi} \frac{N}{a},$$

де p – число пар полюсів двигуна;

N – число активних провідників обмотки якоря;

a – число паралельних віток обмотки якоря.

Величина магнітного потоку визначається струмом збудження машини.

Спільне рішення рівнянь (1) і (2) дає можливість отримати вираз для кутової швидкості електродвигуна постійного струму:

$$c_e = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c_e \Phi}. \quad (3)$$

Цей вираз показує, що змінювати кутову швидкість електродвигуна можна наступними трьома способами:

- зміною величини напруги, що підводиться до електродвигуна;
- зміною магнітного потоку полюсів, тобто зміною струму збудження;
- зміною величини опору в колі якоря, тобто введенням в коло якоря додаткового опору.

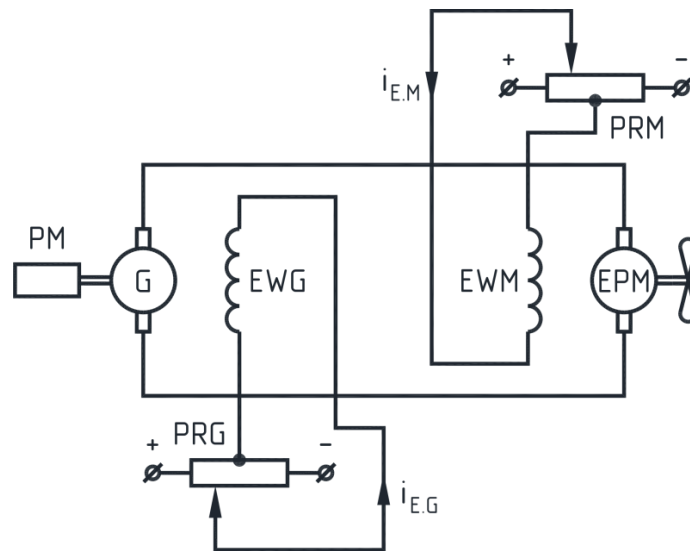


Рис. 2 – Схема регулювання частоти обертання гребного електродвигуна ГЕУ постійного струму: РМ – первинний двигун; G – генератор; EWG – обмотка збудження генератора; ЕРМ – гребний електричний двигун; EWG – обмотка збудження двигуна; PRG – потенціометричний реостат генератора; PRM – потенціометричний реостат двигуна

У ГЕУ постійного струму найбільшого поширення набув перший з перелічених способів; другий використовується рідше; третій – практично не застосовується.

Широке використання регулювання кутової швидкості гребного електродвигуна напругою, що підводиться, пояснюється зручністю реалізації цього методу в ГЕУ постійного струму. Дійсно, ГЕУ в переважній більшості випадків є, по суті, автономною електростанцією, що встановлюється для живлення тільки гребного електродвигуна. Отже, напругу, що підводиться до електродвигуна, можна змінювати, впливаючи безпосередньо на генераторні агрегати. У ГЕУ постійного струму зміна напруги генератора здійснюється зміною струму збудження (рис. 2). З цією метою обмотка збудження генератора EWG підключається до потенціометричного реостату PRG, за допомогою якого можна в широких межах плавно змінювати струм збудження генератора $i_{E.G}$, тобто магнітний потік його полюсів Φ_r . Внаслідок цього при постійній кутовій швидкості приводного двигуна і генератора ω_r змінюється ЕРС генератора

$$E_r = c_{er} \omega_r \Phi_r \quad (4)$$

і напруга, що розвивається генератором

$$U_r = E_r - I_{я.r} R_{я.r}. \quad (5)$$

Напруга U_r , яка визначається виразом (5), відрізняється від напруги U , що прикладається до двигуна і визначається виразом (1), тільки незначним падінням напруги в кабелях, які з'єднують генератор і двигун.

Як було зазначено вище, потужність ланцюга збудження дуже мала і становить близько 1 % потужності генератора. Внаслідок цього потенціометричний реостат і взагалі вся апаратура керування ланцюгом збудження мають малі габарити та масу. Втрати енергії в ланцюзі збудження дуже малі. Тому потенціометричний реостат може бути встановлений у будь-якому місці судна, звідки потрібно здійснювати дистанційне керування гребною установкою. Потенціометричний реостат виконується у вигляді поста керування та встановлюється на ходовому містку судна. Легкість та простота дистанційного керування є позитивною особливістю ГЕУ постійного струму.

Розглянутий спосіб регулювання кутової швидкості двигуна постійного струму зміною напруги, що здійснюється шляхом зміни струму збудження генератора, називається регулюванням швидкості по системі генератор – двигун, або, скорочено, по системі Г-Д. Цей спосіб широко застосовується в судновій електротехніці не тільки для регулювання швидкості гребних двигунів, але і для регулювання швидкості інших електроприводів з електродвигунами постійного струму при отриманні енергії від суднової мережі змінного струму.

Відмінність даної системи від розглянутої вище полягає в тому, що як первинний (приводний) двигун системи Г-Д використовується не тепловий двигун, а електричний двигун змінного струму, що включається в суднову електричну мережу.

Регулювання кутової швидкості гребного електродвигуна за системою Г-Д характеризується великою плавністю в діапазоні від $\omega_{\text{ном}}$ до $0,1\omega_{\text{ном}}$, де $\omega_{\text{ном}}$ – номінальна кутова швидкість електродвигуна. Це дає можливість отримати практично будь-яку стійку кутову швидкість гребного гвинта в межах від його номінальної кутової швидкості до 10 % номінальної, тобто діапазон регулювання становить 10:1. Такий діапазон регулювання кутової швидкості гребного гвинта тепловий двигун забезпечити не може.

Отримання стійкої кутової швидкості нижче ніж $0,1\omega_{\text{ном}}$ при регулюванні напруги генератора за схемою, наведеною на рис. 2, неможливе, оскільки наявність залишкового намагнічування у генератора створює нерегульовану зону.

Однак, використовуючи спеціальні схеми Г-Д зі зворотними зв'язками за струмом, напругою та швидкістю, можна значно розширити діапазон регулювання кутової швидкості електродвигуна, зробивши його практично необмеженим.

Висновок. В роботі проаналізовано спосіб регулювання частоти обертання гребного електродвигуна ГЕУ постійного струму шляхом зміни величини напруги, що підводиться до електродвигуна. Наведено основні аналітичні

формули, які математично описують даний спосіб регулювання. Розглянуто приклад схеми для регулювання частоти обертання гребного електродвигуна ГЕУ постійного струму по системі Г-Д, в якій обмотки збудження генератора та гребного електродвигуна підключені до окремих потенціометричних реостатів, які можуть бути встановлені у будь-якому місці судна, звідки потрібно здійснювати дистанційне керування ГЕУ.

Л і т е р а т у р а

1. Проектування електричних машин / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Д.: НТУ «ДП», 2020. 408 с.
2. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. 2-е видання. Х.: «Видавництво САГА», 2008. 320 с.
3. Чекунов В.К. Проектування гребних електричних установок змінного струму. Миколаїв: НУК, 2012. 109 с.
4. Marco Giuffrida. Electrical Plants and Electric Propulsion on Ships – Extended Edition 2019. Raleigh, USA: Lulu.com, 2018. 352 p.
5. Carlton J.S. Marine Propellers and Propulsion. 2nd Edition. Oxford, Great Britain: Butterworth-Heinemann, 2007. 560 p.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ Й ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Білецька А.В. – магістрант, bilezyka_av@gsuite.duit.edu.ua
Кокряцька Н.І. – к.т.н, доцент, kokryatska_ni@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

DEVELOPMENT TENDENCIES OF SPECIALIZED INFORMATION AND COMPUTER TECHNIQUE TOOLS

Biletska A.V. – master's student, bilezyka_av@gsuite.duit.edu.ua
Kokryatska N.I. – Candidate of Technical Sciences, Docent,
kokryatska_ni@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *This paper analyzes the current trends in the development of computational and information technology, focusing on the creation of high-efficiency solutions tailored to meet the demands of various industries. The study emphasizes the significance of innovative technologies as the foundation for designing devices and platforms optimized for specific tasks, which enhances productivity and data processing accuracy. Key elements of this evolution include the advancement of new architectures that facilitate improved speed and energy efficiency, as well as the integration of artificial intelligence algorithms for automating data analysis and processing. Adaptive systems leveraging machine learning capabilities enable rapid responses to the changing volumes and types of information, ensuring high precision and processing speed.*

Keywords: *computational technology, information processing, innovative solutions, data processing, artificial intelligence, machine learning, optoelectronics, Internet of Things.*

Актуальність дослідження полягає в тому, що сучасні інформаційні та обчислювальні технології є фундаментом для розвитку інноваційних рішень у багатьох галузях, включаючи транспорт, промисловість, охорону здоров'я та фінанси. Зростання обсягів даних і складності обчислювальних завдань вимагає розробки спеціалізованих засобів, які забезпечують високу продуктивність, надійність і безпеку. Впровадження таких технологій сприяє прискоренню обробки інформації, підвищенню енергоефективності та поліпшенню захисту даних, що має важливе значення в умовах глобалізації та цифрової трансформації економіки.

Розвиток спеціалізованих обчислювальних засобів, зокрема інтеграція технологій штучного інтелекту, квантових обчислень і енергозберігаючих архітектур, дозволяє досягати вищих показників продуктивності й адаптивності інформаційних систем, що є актуальним для сучасного суспільства. Ці інновації

дають змогу ефективніше розв'язувати задачі аналізу великих даних, забезпечувати швидке реагування на зміни й оптимізувати використання ресурсів. Тому вивчення тенденцій розвитку спеціалізованих засобів інформаційної та обчислювальної техніки є важливим для побудови інфраструктури, здатної задовольнити потреби цифрової епохи та підтримати подальший технологічний прогрес.

Метою роботи є аналіз сучасних тенденцій розвитку спеціалізованих засобів інформаційної та обчислювальної техніки для виявлення перспективних напрямків їх застосування в різних галузях, зокрема в транспортній сфері. Для досягнення цієї мети, необхідно дослідити сучасні інноваційні рішення, їх вплив на ефективність обробки інформації, оптимізацію ресурсів і підвищення продуктивності систем.

Розвиток обчислювальної техніки є ключовим фактором прогресу в різних галузях, оскільки він відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності, а також для створення інноваційних рішень.

Оскільки такі інноваційні технології знаходять широке застосування в багатьох галузях, їхній постійний розвиток та вдосконалення є критично важливими. Динамічний ринок потребує високопродуктивних рішень, які можуть швидко адаптуватися до змінних умов та викликів сучасного світу, як-от збільшення обсягів даних, зростання потреб в автоматизації процесів і підвищення вимог до точності та швидкості обчислень. Тому в наш час розвиток спеціалізованих засобів обчислювальної техніки спрямований на створення пристроїв і платформ, які оптимізовані для виконання конкретних завдань із високою продуктивністю, енергоефективністю та точністю. На цей момент електронні пристрої впритул наблизилися до своєї фізичної межі швидкодії, розв'язування задач паралельної обробки інформації, зокрема, обробки зображень у реальному часі.

На цьому тлі, для вдосконалення їхніх можливостей, розвиток обчислювальної техніки поступово переходить від традиційних обчислювальних структур Фон-Неймана до "експертних систем" і розумних нейротехнічних, які імітують процеси мозкової діяльності людини. Це формує основу для створення інтелектуальних обчислювальних засобів шостого покоління, здатних розв'язувати комплексні задачі завдяки адаптивному аналізу даних і машинному навчанню.

Крім того, зі зміною архітектури з'являється можливість ефективно виконувати обробку даних паралельно. Використання електрично нейтральних носіїв інформації фотонів дозволяє наблизитися при обчисленнях до рівня фотонних корпускулярно-хвилястих процесів і на кожному етапі фізико-технологічних досягнень елементної бази в сполученні з алгоритмікою

нейроподібного типу, яка постійно удосконалюється, витягувати за розробленими критеріями функціональної і технічної повноти усе більше "інтелектуальних" якостей [1]. Це дозволяє надалі створювати конкурентоспроможні інформаційні технології, орієнтовані на оптоелектронну реалізацію в задачах розпізнавання образів.

В даний час оптичні перемикачі, виготовлені на основі традиційної кремнієвої технології, потребують значних енерговитрат і набагато більші за габаритами, ніж напівпровідникові електронні пристрої. Для усунення зазначених недоліків застосовуються надгратки з просторовим квантуванням[2].

Очевидно, поки що застосування оптоелектроніки в обчислювальних системах не може скласти серйозної конкуренції мікропроцесорній техніці через хронічне відставання технології різнокомпонентної оптоелектронної схемотехніки у порівнянні з однорідною кремнієвою мікроструктурою. Проте також очевидно інше — традиційні алгоритми і архітектури класичних обчислювальних структур, які реалізують послідовну, точкову обробку даних, вже не можуть задовольнити потребу в швидкому та компактному перетворенні великих обсягів інформації, як-от під час обробки зображень. У цьому зв'язку перспективними в даній області являються результати теоретичних і прикладних досліджень паралельно-ієрархічних обчислювальних нейроподібних структур (ПОНС), які у сполученні з багатофункціональною оптоелектронікою розкривають нові можливості розвитку не Нейманівської обчислювальної техніки [3].

Об'єднання оптоелектроніки і сучасної обробки сигналів сприяє створенню нових підходів, які ще більше інтегрують ці сфери знань. Основні обчислювальні процедури при вирішенні більшості задач обробки сигналів у реальному масштабі часу зводяться до виконання набору операцій над матрицями. Він вміщує достатньо складні й апаратуроємні обчислювальні процедури: множення матриці на вектор, множення матриці на матрицю і додавання, обертання матриць, рішення лінійних систем рівнянь, наближене рішення лінійних систем методом найменших квадратів, обчислення власних значень, перебування сингулярного розкладання матриць. Зважаючи на зростання обсягів та складності оброблюваних даних, в обчислювальних системах активно впроваджуються квантові обчислення, здатні працювати з масивами інформації на рівні, недоступному для традиційних електронних процесорів [3]. Квантові комп'ютери, застосовуючи принципи суперпозиції та заплутаності, дозволяють здійснювати паралельну обробку даних. Квантові обчислення створюють нові можливості для вирішення проблем, які раніше були надто складними або потребували надмірного часу для обробки. У

поєднанні з оптоелектронними технологіями це відкриває перспективи для підвищення енергоефективності та швидкодії обчислювальних систем, що особливо актуально в умовах зростання обсягів даних у наукових і промислових сферах.

Нині розпочинається нова ера в розвитку техніки цифрової обробки даних і відбувається повернення до концепції спеціалізованого обчислювального пристрою[4]. У майбутньому з'явиться ряд спеціалізованих обчислювальних пристроїв багатофункціонального призначення для військового і промислового застосування. Проте зараз більшість спеціалістів у вузьких областях обробки сигналів, наприклад, аналізу зображень, віддають перевагу використанню універсальних обчислювальних засобів для розробки власного програмного забезпечення. Легкість у створенні програм аналізу зображень призводить, як правило, до збільшення часу лічби на ПК. Так зовсім прості перетворення, що потребують мінімальних обчислень, займають від десятків хвилин до декількох годин процесорного часу на кращих ПК. Тому потрібні нові методи і засоби з новою алгоритмікою і архітектурою побудови спеціалізованих обчислювальних засобів, які потребують мінімальних обчислень і апаратних затрат.

В останні роки визначилась тенденція до росту об'ємів перетворення, обробки, передачі і збереження відеоінформації[3]. Звідси актуальною виявилась розробка ефективних методів і способів інтеграції пристроїв візуалізації і відображення інформації з підсистемою її попередньої обробки, процесорів для вводу і перетворення відеоінформації, інформаційно-пошукових систем, які працюють у картинних і образних категоріях. Зокрема, штучний інтелект (ШІ) відіграє ключову роль у цій інтеграції, забезпечуючи нові можливості для автоматизації процесів обробки та аналізу відеоданих. Завдяки алгоритмам машинного навчання та глибоким нейронним мережам, системи штучного інтелекту можуть аналізувати відеопотоки в режимі реального часу, автоматично ідентифікуючи об'єкти, розпізнаючи дії та контексти.

Окрім розвитку архітектурних рішень для підвищення швидкодії та оптимізації обробки великих обсягів інформації, важливим напрямком залишається інтеграція обчислювальних систем з мережею Інтернет. В умовах стрімкого зростання інформаційних потоків це дозволяє значно скоротити затримки обробки даних та забезпечити доступ до результатів обчислень у режимі реального часу. Застосування такої інтеграції, зокрема у промисловості, транспорті та науці, є ефективним рішенням для вирішення задач, що вимагають масштабних обчислювальних ресурсів і швидкого обміну результатами. Це створює основу для реалізації хмарних обчислень і концепції інтернету речей (IoT), де інформація, зібрана з численних пристроїв, швидко обробляється та використовується для прийняття рішень [5].

Висновок. У процесі розвитку обчислювальної техніки та інформаційних систем спостерігається чітка тенденція до створення вискоефективних рішень, які відповідають сучасним вимогам різних галузей. Інноваційні технології стають основою для розробки пристроїв і платформ, оптимізованих для виконання специфічних завдань, що забезпечує підвищення продуктивності та точності обробки даних. Підсумовуючи, зростання обсягів інформації, зокрема в сфері відеоданих, підкреслює необхідність інтеграції новітніх технологій в обчислювальні системи. Ключовими елементами цього процесу є розробка нової архітектури, що дозволить досягати більшої швидкодії та енергоефективності, а також використання алгоритмів штучного інтелекту для автоматизації аналізу та обробки даних. Адаптивні системи, що використовують машинне навчання, здатні швидко реагувати на зміни в обсягах і типах інформації, забезпечуючи високу точність та швидкість обробки.

Л і т е р а т у р а

1. Елементна база електронних апаратів. Частина 1. Фізичні основи електронної техніки: навч. посіб. / М. А. Філінюк та ін. Вінниця: ВНТУ, 2015. 100 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2017/Filin_P1_2015_100.pdf (дата звернення: 02.11.2024).
2. Segmentation of multigradation images based on spatial connectivity features / L. Timchenko et al. *Informatyka, automatyka, pomiary w gospodarce i ochronie środowiska*. 2023. Vol. 13, no. 3. P. 47-50.
3. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Основи теорії пірамідально-сітьового перетворення зображень / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Кутаев Ю.Ф., Івасюк І.Д. К: УМК ВО, 1994. 272с.
4. Особливості використання теорії паралельно-ієрархічного перетворення для обробки інформації / Л.І. Тимченко та ін. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2023. Т. 45, № 1. С. 43-54.
5. Детермінанти сталого розвитку економіки: монографія. / Храпкіна В. В. та ін. Київ: Інтерсервіс, 2019. 261с. URL: https://www.google.com.ua/books/edition/Детермінанти_сталого/mEGuDwAAQBAJ?hl=uk&gbpv=1 (дата звернення: 02.11.2024).

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА БЕЗПЕКИ КОНТЕЙНЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ LXC У ПОРІВНЯННІ З KVM В ХМАРНИХ ІНФРАСТРУКТУРАХ

Білодід О.А. – магістрант, albil0did@gmail.com

Воронко І.О. – к.т.н, старший викладач, voronko_io@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

RESEARCH OF OPTIMISATION AND SECURITY OF CONTAINER TECHNOLOGIES BASED ON LXC IN COMPARISON WITH KVM IN CLOUD INFRASTRUCTURES

Bilodid O.A. – master's student, albil0did@gmail.com

Voronko I.O. – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
voronko_io@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. The research analyzes the optimization and security aspects of containerization technologies LXC and compares them with KVM in the context of cloud infrastructures. The study focuses on the performance, resource utilization, and security mechanisms of LXC, which is a lightweight alternative to full virtualization, and KVM, a well-established hypervisor-based solution. Special attention is paid to their application in cloud environments, where scalability and security are crucial. The paper provides a comparative analysis of resource isolation, networking, and vulnerability management in both technologies.

Keywords: LXC, KVM, cloud infrastructure, container security, virtualization, resource optimization

Актуальність дослідження зумовлена тим, що в сучасних хмарних інфраструктурах оптимізація ресурсів та забезпечення безпеки є критичними факторами для ефективного управління ІТ-сервісами. Контейнерні технології, такі як LXC (Linux Containers) [1, 2], набирають популярності завдяки легкості в управлінні та ефективному використанню ресурсів у порівнянні з традиційними гіпервізорами, такими як KVM (Kernel-based Virtual Machine) [2]. Однак питання безпеки та ізоляції процесів у контейнерах викликає занепокоєння, що потребує детального вивчення та порівняння з повною віртуалізацією.

Метою роботи є проведення порівняльного аналізу контейнерної технології LXC та віртуалізації на основі KVM у контексті хмарних інфраструктур. Аналіз включає оптимізацію ресурсів, безпеку, ізоляцію процесів та мережеві аспекти. Дослідження фокусується на застосуванні двох

технологій у хмарних середовищах для визначення переваг та недоліків кожної з них.

LXC (Linux Containers) і KVM (Kernel-based Virtual Machine) є двома основними технологіями віртуалізації, що широко застосовуються в сучасних хмарних інфраструктурах. Обидві технології мають свої сильні та слабкі сторони, які стають особливо помітними у контексті їх застосування в системах, де важливо забезпечити баланс між оптимізацією ресурсів та безпекою.

Контейнеризація, яку представляє LXC, відрізняється тим, що вона дозволяє працювати з ізольованими процесами на рівні ядра операційної системи, не створюючи повноцінних віртуальних машин. Це забезпечує набагато швидший запуск контейнерів і менші накладні витрати на ресурси, оскільки контейнери поділяють ядро хост-системи [1, 3]. Завдяки цьому, LXC демонструє високу ефективність у роботі з ресурсами CPU, оперативною пам'яттю та дисковим простором, що особливо важливо в хмарних середовищах з обмеженими ресурсами [3].

У порівнянні з LXC, KVM реалізує повну віртуалізацію, де кожна віртуальна машина працює незалежно від хостової системи, маючи власне ядро та операційну систему [3]. Це забезпечує більшу ізоляцію, але створює додаткові накладні витрати на управління ресурсами. Хоча продуктивність KVM також досить висока, вона поступається LXC у випадках, де необхідно одночасно запускати велику кількість ізольованих середовищ. Крім того, KVM часто використовує більше ресурсів, оскільки віртуальні машини вимагають власних копій операційної системи. Проте, варто відзначити, що продуктивність LXC може бути оптимальною тільки в сценаріях, де не потрібна повна віртуалізація [1, 4]. Наприклад, при виконанні легких завдань або обробці завдань, які не потребують високого рівня ізоляції. У випадках, де потрібно забезпечити розширену ізоляцію та безпеку, KVM забезпечує кращу продуктивність завдяки повній ізоляції віртуальних машин [4].

Одним з ключових факторів при виборі між LXC та KVM є рівень безпеки та ізоляції. У LXC контейнери використовують спільне ядро з хостовою системою, що означає, що будь-яка вразливість у ядрі операційної системи може потенційно вплинути на всі контейнери [4, 5]. Для забезпечення безпеки в LXC застосовуються такі механізми, як cgroups (контроль над використанням ресурсів) і namespaces (ізоляція процесів), які надають базову ізоляцію між контейнерами. Однак, уразливості в самій системі LXC або неправильні налаштування можуть призвести до витоків даних або до можливості атаки на інші контейнери або хост-систему.

З іншого боку, KVM забезпечує повну ізоляцію кожної віртуальної машини, що працює як окрема система з власним ядром і операційною системою [4]. Це значно знижує ризик того, що атака на одну віртуальну машину вплине на інші віртуальні машини або хост-систему. Крім того, KVM використовує інші механізми захисту, такі як апаратне розширення для віртуалізації (Intel VT-x, AMD-V), що дозволяють краще контролювати доступ до ресурсів і підвищують безпеку.

Мережеві функції у LXC та KVM також відрізняються. У KVM кожна віртуальна машина зазвичай має свій власний віртуальний мережевий інтерфейс, що дозволяє створювати ізольовані мережі всередині хмарної інфраструктури [3]. Це дозволяє легко управляти мережею на рівні віртуальних машин і забезпечувати додаткову ізоляцію мережевого трафіку між віртуальними машинами. LXC, у свою чергу, використовує namespaces для ізоляції мережевих ресурсів, що дозволяє кожному контейнеру мати свій власний мережевий стек. Хоча цей підхід є більш гнучким і дозволяє легко створювати ізольовані середовища, він вимагає більш детальної конфігурації для забезпечення належної безпеки [4, 5].

Однією з головних переваг LXC є його висока масштабованість. Контейнери мають менший розмір і вимагають менше ресурсів для запуску порівняно з віртуальними машинами на основі KVM. Це дозволяє запускати сотні або навіть тисячі контейнерів на одній фізичній машині, що є особливо корисним у сценаріях, де необхідно обробляти багато паралельних запитів [4]. KVM, натомість, хоч і може забезпечити масштабованість, але цей процес є більш ресурсомістким. Кожна віртуальна машина вимагає більше часу для запуску і потребує більшої кількості ресурсів для підтримки ізольованого середовища [5].

Вибір між LXC та KVM залежить від вимог до конкретного середовища. LXC може бути переважним у сценаріях, де необхідна максимальна продуктивність і мінімальне використання ресурсів. KVM, зі свого боку, підходить для більш захищених середовищ, де ізоляція систем є пріоритетною.

Висновок. В результаті проведеного аналізу, досліджень та порівняння контейнерних технологій LXC і віртуалізації на основі KVM у хмарних інфраструктурах встановлено, що LXC забезпечує високу ефективність використання ресурсів та масштабованість завдяки низьким накладним витратам і можливості швидкого запуску контейнерів. Однак, у питаннях безпеки та ізоляції контейнерні технології поступаються KVM, оскільки контейнери використовують спільне ядро з хостовою системою, що збільшує ризик вразливостей. KVM, зі своєю повною віртуалізацією та більшою ізоляцією, забезпечує вищий рівень безпеки, але з більшими витратами на

ресурси та управління. Таким чином, вибір між LXC та KVM залежить від конкретних вимог до продуктивності, безпеки та масштабованості в хмарних інфраструктурах.

Л і т е р а т у р а

1. KVM vs LXC: Choosing the right virtualization for efficiency and performance [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://1gbits.com/blog/kvm-vs-lxc-choosing-the-right-virtualization-for-efficiency-and-performance/> (дата звернення 21.10.2024).
2. Verma S. B., Pandey B., Gupta B. K. Containerization and its Architectures: A Study (2022) /Adcaij advances in distributed computing and artificial intelligence journal 11(4), 395-409. DOI:10.14201/adcaij.28351.
3. Soltesz, S., Pötl, H., Fiuczynski, M. E., Bavier, A., & Peterson, L. (2007). Container-based operating system virtualization: A scalable, high-performance alternative to hypervisors. ACM SIGOPS Operating Systems Review, 41(3), 275-287.
4. Qumsiyeh, Y. (2020). Performance comparison of full virtualization and containerization: LXC and KVM. Journal of Cloud Computing, 9(1), 1-13.
5. Turner, C., & Desmet, S. (2022). Network virtualization with KVM and Open vSwitch. Journal of Network and Systems Management, 30(3), 1-20.

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ЗАКУПІВЛІ В ЗАЛІЗНИЧНІЙ ГАЛУЗІ

Білоцький В.В. – аспірант, bilotskyi_vv@gsuite.duit.edu.ua
Горобченко О.М. – д.т.н., проф., gorobchenko_om@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS MODEL FOR PROCUREMENT DECISION MAKING IN RAILWAY INDUSTRY

Bilotskyi V.V. – Postgraduate student, bilotskyi_vv@gsuite.duit.edu.ua
Gorobchenko O.M. – Doctor of Tech. Sciences, Prof., gorobchenko_om@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. The paper analyzes the use of fuzzy models to aid in decision making for the process of procurement of parts for locomotives, rolling stock and railway related objectives. In modern times procurement becomes a strategic task so effectiveness of supplier selections poses huge interest for growth and operation of the railway system. In the work fuzzy-AHP method is analyzed and proposed for implementation for measuring and supporting effective purchasing decisions. Listed purported benefits and drawbacks of its usage that can affect the outcome of calculations and possible optimizations.

Keywords: procurement, fuzzy logic, fuzzy-AHP, multi-criteria decision making

Актуальність дослідження полягає в тому, що закупівлі є ключовим процесом в підтримці оперування та розвитку залізничної індустрії, доволі часто на українському ринку ці закупівлі проводяться за рахунок кредитних коштів європейських програм підтримки реконструкції та розвитку при цьому ефективність цих закупівель та прозорість може викликати питання. Тому, залучення нечітких моделей дозволяє формувати більш обґрунтовані рішення та підтверджувати актуальність вибору.

Метою роботи є вивчення та розробка моделі нечіткої логіки з процесом аналітичної ієрархії, яка дозволить систематично підходити до формування вимог та аналізу вибори найкращого постачальника для закупівель необхідних деталей. Об'єктом дослідження є процес визначення найоптимальнішого вибору постачальника в контексті тендерних закупівель на основі моделі нечітких множин з урахуванням експертних показників економічного, технічного та організаційного характеру

Процес нечіткої аналітичної ієрархії (Fuzzy-AHP) — це метод прийняття рішень, який включає нечітку логіку в традиційний процес аналітичної ієрархії (АНР). Це особливо корисно, коли справа йде зі складними рішеннями, пов'язаними з якісними критеріями та невизначеністю, такими як тендерні

закупівлі. У формуванні вибору і найоптимальніших рішень часто доводиться обирати в нестійких умовах, коли критерії вибору можуть мати не лише технічну складову, але до прикладу. Першочерговим кроком для імплементації моделі є визначення мети та критеріїв.

Цей метод сильно покладається на експертні оцінки, в цьому можна розглядати як користь так і недоліки, результати можуть бути не обнадійливі, адже точність методу сильно залежить від досвіду та об'єктивності тих, хто приймає рішення. Думки експертів значною мірою покладається на суб'єктивні судження для побудови матриць попарного порівняння та призначення нечітких чисел. Непослідовні або упереджені судження можуть призвести до не достовірних результатів[1]. Залучені експерти надають порівняльні оцінки пар критеріїв і альтернатив у вигляді трикутних нечітких чисел. Для кожного критерію та пари альтернатив використовується матриця парних порівнянь $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]$. Парні порівняння можуть бути подані у різному виді і це буде впливати на кінцевий результати підрахунків, до можливих форматів подачі можна віднести наступні нечіткі числа трикутні, трапезоїдні, гаусівські та інші, всі вони дозволяють передавати в модель різний рівень відношень кожного компонента [2, 3]. В представленій моделі вибір впав на трикутне нечітке число через більшу простоту обчислень, позначено, як $\tilde{a}_{ij}$ - трикутне нечітке число, що визначає відносну важливість елемента i від елемента j .

$$\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}), \quad (1)$$

де l_{ij}, m_{ij}, u_{ij} — нижня, середня та верхня границі значень при порівнянні критерію i та j . Якщо експерт вважає, що один критерій сильно важливіший за інший, оцінка може бути представлена як $\tilde{a}_{ij} = (3,5,7)$. Далі процес підрахунку переходить до калькуляції суми колонок за кожним критерієм наданим для порівняння.

$$S_j = \sum_{i=1}^n (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (2)$$

Таким чином, для кожного граничного значення за категорією, розраховується за наступною формулою, для кожного граничного показника.

$$S_j^L = \sum_{i=1}^n l_{ij}, \quad S_j^M = \sum_{i=1}^n m_{ij}, \quad S_j^U = \sum_{i=1}^n u_{ij} \quad (3)$$

Після отримання нової матриці всі значення мають зводитись до нормалізованих, щоб гарантувати, що сума всіх ваг критеріїв дорівнює одиниці, створюючи пропорційний розподіл важливості між критеріями.

$$\tilde{A}_{ij} = (\frac{l_{ij}}{s_j^L}, \frac{m_{ij}}{s_j^M}, \frac{u_{ij}}{s_j^U}) \quad (4)$$

Далі відбувається підрахунок нечітких ваг відповідно для кожного типу граничного значення відповідно до критерію і їх подальша нормалізація по кожному критерію. Результатом є фінальні оцінки важливості кожного залученого критерію.

$$W_i^{\text{гран.зн}} = \frac{\sum_{j=1}^n \tilde{A}_{ij}}{n} \quad (5)$$

$$W_i^{\text{норм}} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^3 W_i^{\text{гран.зн}}} \quad (6)$$

У вище наведених формулах (5, 6) і відповідає за певний критерій. Далі експертами формулюється матриця за критерієм та постачальником, в колонках таблиці подаються постачальники і у рядку його оцінка за кожним критерієм. З отриманої матриці відбувається розрахунок зваженої оцінки за кожним критерієм кожного з отриманих постачальників.

$$\text{Зважена оцінка}_{ij} = (W_i^{\text{норм}} * r_{ij}^L, W_i^{\text{норм}} * r_{ij}^M, W_i^{\text{норм}} * r_{ij}^U) \quad (7)$$

Кожна зважена оцінка за критерієм сумується для отримання фінальної оцінки кожного постачальника за відповідною формулою. У формулі (7) значення оцінками r є нечіткою трикутною оцінкою кожного критерію і та відповідає попередньо використаному формату(1). Згодом вираховується фінальна оцінка за кожним граничним значенням.

$$\text{Фінальна оцінка}_j = \sum_{i=1}^n \text{Зважена оцінка}_{ij} \quad (8)$$

Фінальна ціна проходить через дефазифікацію, найбільший серед отриманих балів вказує на найоптимальніший вибір з точки зору поставлених критеріїв.

$$\text{Оцінка постачальника}_j^{\text{дефаз}} = \frac{\Phi.\text{оцінка}_j^L + \Phi.\text{оцінка}_j^M + \Phi.\text{оцінка}_j^U}{n} \quad (9)$$

Висновок. Представлена модель для оцінки та оптимізації тендерних закупівель на базі поєднання методів нечітких множин та методу аналітичної ієрархії, було продемонстровано переваги та недоліки запропонованої моделі у предметній області. Даний метод дозволяє враховувати безліч комплексних факторів і залучати історичні дані до формування порівняльних матриць, що можуть впливати на фінальний результат роботи моделі. До подальшого розгляду також варто звернути увагу на використання інших форматів значень які впливають на якісну передачу взаємозв'язків між критеріями і можуть бути кращими при більш детальному розгляді предмету закупівель.

Л і т е р а т у р а

1. Munier, N., & Hontoria, E. (2021). Uses and Limitations of the AHP Method. In *Management for professionals*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60392-2>
2. Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems With Applications*, 161, 113738. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
3. Tanak Coşkun, G., & Yılmaz Yalçiner, A. (2021). Determining the best price with linear performance pricing and checking with fuzzy logic. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107150. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107150>

РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ МЕРЕЖІ ЧЕРЕЗ СТАТИСТИЧНО ОРІЄНТОВАНУ МАРШРУТИЗАЦІЮ

Брайковський М.Є. – старший викладач, m.braykovsky@gmail.com

Тимченко Л.І. – д.т.н., проф., tumchenko_li@gsute.duit.edu.ua

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT NETWORK FUNCTIONS THROUGH STATISTICALLY ORIENTED ROUTING

Braykovsky M.Ye. – Senior Lecturer, m.braykovsky@gmail.com

Tumchenko L.I. – Doctor of Technical Sciences, Professor.

tumchenko_li@gsute.duit.edu.ua

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technology

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article considers the issues of modern use and development of network functions through statically oriented routing, which is considered an alternative approach to data transmission, the transmission of such information in large volumes creates significant loads, but this problem is solved with the help of statistical data that are periodically updated. As a result of the analysis of modern methods of data transmission using statistical routers, their main advantages have been identified: reducing the load on communication channels, avoiding delays due to the optimal priorities from the list of priorities, fully automated operation of nodes without human intervention, etc.*

Keywords: *data network, communication channels, statistical routers, adaptive systems.*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю використання статистичних маршрутизаторів в сучасних умовах зв'язку.

Метою роботи є розгляд питання організації передачі даних у мережі шляхом вибору оптимального маршруту через канали зв'язку з допомогою статистичних маршрутизаторів.

Розглядаються питання сучасного використання та розвитку функцій мережі через статично орієнтовану маршрутизацію. У загальному розумінні, маршрутизація – це процес переміщення інформації від відправника до одержувача через об'єднану мережу, часто з використанням одного або кількох проміжних вузлів. Маршрутизацію зазвичай порівнюють із об'єднанням мереж за допомогою мостів, які вважаються альтернативним підходом до передавання даних. Головна відмінність між ними полягає у рівні застосування: мости працюють на рівні 2 еталонної моделі ISO, тоді як маршрутизація виконується на рівні 3. Це пояснює, чому ці два підходи використовують різну інформацію для передавання даних.

У підсумку, маршрутизація та об'єднання через мости виконують схожі завдання, але різними способами. Існує декілька типів маршрутизації та мостових об'єднань, кожен із яких має свої особливості застосування.

Інтелектуальні мережі поступово вдосконалюються шляхом додавання нових функцій, але системи, що здатні адаптуватися до змінних умов, використовуються рідко. Навіть ці адаптивні системи стикаються з труднощами, зокрема через значні затримки під час організації маршруту та відсутність даних про завантаженість каналів у наступних сегментах.

Щоб маршрутизатори могли навчатися, їм потрібна інформація про стан мережі. Однак передача такої інформації у великих обсягах створює значні навантаження. Цю проблему можна вирішити, використовуючи статистичні дані, які періодично оновлюються. Замість збереження повного маршруту такі дані містять середньостатистичний час проходження пакета до певного вузла через сусідні вузли. Це дозволяє скоротити кількість маршрутів і забезпечити автономне прийняття рішень кожним вузлом на основі своєї статистики.

Збір даних відбувається за допомогою повідомлень, що надсилаються у зворотному напрямку після досягнення кінцевого вузла. Повідомлення містить час доставки пакета й оновлює базу даних маршрутизаторів на шляху проходження. Коли маршрутизатор отримує такі дані, він порівнює час відправлення пакета з часом його отримання та вносить відповідні коригування.

Пріоритетні маршрути обираються за критерієм мінімального середнього часу проходження пакета, розрахованого на основі попередніх даних. Передача пакетів орієнтується на завантаженість каналів, яка перевіряється відповідно до черговості в таблиці маршрутизатора.

Алгоритм роботи маршрутизаторів доволі простий для реалізації й дозволяє їм не тільки самостійно формувати маршрути, але й оновлювати інформацію про вузли зв'язку. При підключенні нового вузла завантажуються базові дані з адресами сусідніх вузлів, які використовуються для початкової роботи.

Наступним етапом маршрутизатор послідовно опитує всі сусідні вузли. Отримана інформація містить повний список вузлів мережі та середньостатистичний час доставки даних до кожного з них. На основі цих даних маршрутизатор коригує таблицю з урахуванням швидкості власних каналів і створює попередній список пріоритетних маршрутів, який буде оновлюватися під час роботи. При опитуванні сусідніх вузлів автоматично оновлюються їхні бази даних, що дозволяє поширювати інформацію про нові вузли мережею. Після виконання цих кроків маршрутизатор готовий до роботи, а блок складання пріоритетних маршрутів переходить у режим очікування.

При отриманні статистичної інформації маршрутизатор оновлює список маршрутів відповідно до даних. Статистика включає: час отримання пакета кінцевим вузлом, час його відправлення та адресу сусіднього вузла, через який передавався пакет. Дані зберігаються у двомірному масиві, де одна вісь відповідає сусіднім вузлам, а інша — усім вузлам у мережі. На перетині зберігається середньостатистичний час доставки. На основі цієї таблиці створюється список пріоритетів, який містить лише адреси сусідніх вузлів.

Передані пакети, окрім корисних даних, включають тільки адресу отримувача, що зменшує їхній розмір. На кожному вузлі маршрутизатор обирає маршрут лише для наступної ділянки шляху. Вибір відбувається на основі пріоритетів, з урахуванням середньостатистичного часу передачі через кожен канал.

При досягненні кінцевого вузла назад відправляється повідомлення з часом отримання пакета. Це повідомлення, проходячи через всі вузли, оновлює їхні списки пріоритетів.

Висновок. В результаті проведеного аналізу використання сучасних передачі даних з використанням статистичних маршрутизаторів встановлені основні переваги статистичних маршрутизаторів:

- зниження навантаження на канали завдяки скороченню обсягу інформації про маршрути;
- відсутність фіксованих маршрутів дозволяє уникати затримок, обираючи оптимальний канал зі списку пріоритетів;
- автоматичне оновлення маршрутів при зміні структури мережі;
- відсутність потреби у централізованому керуванні мережею;
- повністю автоматизована робота вузлів без втручання людини.

Л і т е р а т у р а

1. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі: Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

2. Стрихалюк Б.М. Теорія побудови та протоколи інфокомунікаційних мереж: Конспект лекцій. Львів: Львівська політехніка, 2017. 121 с.

ПРОГНОЗУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ВЕЛИКИХ ДАНИХ (BIG DATA)

Воробйова С.С. – здобувач вищої освіти факультету менеджменту,
vorobyova.sonya@gmail.com

Хилько І.І. – старший викладач, hilko@mnaeu.edu.ua
Миколаївський національний аграрний університет
Україна, м. Миколаїв

FORECASTING IN AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON BIG DATA

Vorobyova S.S. – higher education student of the Faculty of Management,
vorobyova.sonya@gmail.com

Khilko I.I. – Senior Lecturer, hilko@mnaeu.edu.ua
Mykolaiv National Agrarian University
Ukraine, Mykolaiv

Abstract. *The rapid growth of data volumes and the need for their efficient processing pose new challenges to automated management systems. The use of big data analysis methods allows to increase the accuracy of forecasting, to ensure the optimization of production processes and to increase the productivity of systems. The paper analyzes the advantages of using machine learning algorithms for processing large data sets, as well as their impact on management decision-making in real time. The study demonstrates that the implementation of Big Data in automated control systems contributes to increasing their adaptability, reliability and efficiency in various fields such as industry, logistics and energy.*

Keywords: *prognostication, automated control systems, Big Data, optimization, modeling, analytics in real time, machine learning algorithms, making decisions*

Актуальність дослідження зумовлена найважливішим напрямком розвитку сучасних інформаційних технологій. Завдяки стрімкому зростанню обсягу даних у різних сферах, таких як промисловість, логістика, енергетика та фінанси, системи управління потребують нових підходів до їх аналізу та оптимізації. Застосування Big Data дозволяє автоматизованим системам прогнозувати зміни на основі минулих даних, що підвищує ефективність, надійність та адаптивність процесів. Прогнозування на основі великих даних відкриває можливості для розв'язання таких завдань, як передбачення технічних збоїв, оптимізація ресурсів, покращення логістичних процесів і управління ризиками. Це дає можливість знижувати витрати, підвищувати продуктивність та забезпечувати безперебійне функціонування автоматизованих систем. Крім того, використання Big Data сприяє прийняттю обґрунтованих рішень у реальному часі, що є критично важливим для конкурентоспроможності в сучасних умовах.

Метою роботи є вивчення можливостей застосування великих даних (Big Data) для підвищення ефективності прогнозування в системах автоматизованого управління.

Сучасний світ генерує величезні обсяги даних, які стали новим стратегічним ресурсом. Великі дані дозволяють виявляти нові закономірності, тренди та можливості, що раніше були недоступні.

З початку 2010-х років термін "Великі Дані" став загальновживаним, особливо після того, як стало очевидним експоненціальне зростання даних, зокрема завдяки соціальним мережам. Однак, сутність Великих Даних полягає не лише в їхньому обсязі. Головне – це їхня різноманітність та глибина, що дозволяє виявляти нові зв'язки між даними. Д. Хардінг справедливо зауважив, що великі дані – це не просто більше інформації, а потужний інструмент для отримання нових знань та прийняття обґрунтованих рішень. Ці дані досягають своєї глибини завдяки об'єднанню даних з різних джерел, що дозволяє встановлювати нові зв'язки між людьми [1].

Перевагами використання аналітики великих даних є швидка обробка великих обсягів різноманітної інформації, підвищена точність прийняття рішень, оптимізація витрат, глибоке розуміння клієнтів та покращене управління ризиками.

Фундаментальні принципи концепції великих даних, відомі як «5V», визначають її сутність та можливості. Обсяг даних підкреслює їхні масштаби, швидкість — динаміку генерації та обробки, різноманітність — гетерогенність типів та джерел, достовірність — важливість забезпечення точності та надійності інформації, а цінність — потенціал для створення економічної вартості [2].

Завдяки великим даним підприємства здатні здійснювати точні прогнози майбутніх подій та розробляти ефективні стратегії розвитку. Аналізуючи великі обсяги історичних даних за допомогою алгоритмів машинного навчання, компанії можуть передбачати зміни ринкових тенденцій, рівень попиту на свою продукцію та інші ключові бізнес-метрики [3].

Ключовими аспектами застосування Big Data в прогнозуванні є:

1. Аналіз великих обсягів інформації, що означає, що системи автоматизованого управління можуть обробляти дані з різних джерел (сенсори, пристрої IoT, ланцюги постачання) для точного прогнозування результатів і підвищення продуктивності.

2. Прогнозування ризиків та технічних збоїв, адже за допомогою аналізу великих даних можна передбачити потенційні збої в системах або устаткуванні, що допомагає зменшити ризики і запобігти дорогим простоям.

3. Оптимізація процесів у реальному часі. Використання Big Data дозволяє коригувати процеси управління у реальному часі, ґрунтуючись на аналізі оперативної інформації. Це підвищує ефективність управлінських систем та сприяє швидкій адаптації до змінних умов.

4. Машинне навчання та штучний інтелект. Інтеграція алгоритмів машинного навчання дозволяє створювати прогнозуючі моделі, які вдосконалюються з часом, збільшуючи точність прогнозів і надаючи можливість самонавчання системам управління.

Щодо основних переваги впровадження Big Data в автоматизовані системи управління, то слід зауважити про зниження витрат на управління та експлуатацію завдяки оптимізації процесів, підвищення конкурентоспроможності бізнесу через ефективніше використання ресурсів та прийняття рішень на основі даних у реальному часі, що забезпечує більш оперативну реакцію на зміни.

Таким чином, використання великих даних у прогнозуванні та автоматизованих системах управління дозволяє значно підвищити ефективність операцій і забезпечити стійке зростання бізнесу в умовах сучасних викликів.

Системи автоматизованого управління застосовуються в різних галузях. У промисловості ці системи використовують для прогнозування збоїв обладнання, оптимізація виробничих процесів і управління запасами. У галузі енергетика застосовують для прогнозування споживання енергії, оптимізація роботи енергосистем та управління попитом. Щодо найактуальнішої галузі в даний час, а саме транспорт, це прогнозування трафіку, оптимізація маршрутів та управління автопарком. За допомогою систем автоматизованого управління в галузі медицина прогнозують захворювання, персоналізована медицина та оптимізації лікування.

Висновок. В результаті проведеного аналізу, прогнозування в системах автоматизованого управління на основі великих даних (Big Data) є важливим інструментом для підвищення ефективності бізнес-процесів у різних галузях, таких як промисловість, енергетика та логістика. Використання Big Data дозволяє компаніям не тільки аналізувати величезні обсяги інформації в реальному часі, але й робити точні прогнози для оптимізації виробничих процесів, зниження витрат і управління ризиками. Завдяки інтеграції алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту [4], системи автоматизованого управління стають більш адаптивними та здатними до самонавчання. Це сприяє оперативному прийняттю рішень, покращенню ефективності управління та підвищенню конкурентоспроможності бізнесу.

Застосування великих даних у прогнозуванні відкриває нові можливості для інновацій у різних сферах, роблячи автоматизовані системи управління невід'ємною частиною сучасних бізнес-моделей.

Л і т е р а т у р а

1. Дзямулич М.І., Шматковська Т.О., Борисюк О.В. Великі дані та їх роль у формуванні цифрової економіки. Галицький економічний вісник. 2021. №70 (3). С. 16-21.
2. Конюш М.Р. Великі дані як загроза праву людини на недискримінацію. Інформація і право. 2021. №2 (37). С. 46-50.
3. Big Data: аналіз великих обсягів даних для прийняття рішень. Megasite. URL: <https://it-rating.ua/big-data-analiz-velikih-obsyagiv-danih-dlya-priynyattya-rishen>. (дата звернення 22.10.2024).
4. Хилько І.І., Битко Д.К. Штучний інтелект як фактор розвитку економіки. Менеджмент та маркетинг як фактори розвитку бізнесу : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 17-19 квітня 2024 р. Національний університет "Києво-Могилянська академія" [та ін.]. Київ : Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", 2024. Т. 2. С. 391-394. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44750/1/TEZY.pdf> (дата звернення 22.10.2024).

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ В СКЛАДНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Герцій О.А. – к.т.н., доцент, *gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua*

Гладий В.В. – аспірант, *gladish_vv@gsuite.duit.edu.ua*

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF OPERATION IN COMPLEX AUTOMATED SYSTEMS

Gertsy O.A. – Ph.D., Associate Professor, *gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua*

Gladish V.V. – Postgraduate student, *gladish_vv@gsuite.duit.edu.ua*

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *The paper considers criteria for assessing the effectiveness of functioning in complex automated systems. The general requirements for criteria for assessing the effectiveness, quality and optimization of complex information systems are studied. A generalized functional-statistical criterion for assessing effectiveness, quality and optimization is obtained. This criterion is based on the management process as a source of information, as well as on the algorithm of the automated control system. It is proposed to use it in a complex automated control system. This algorithm is based on the relevant provisions of the theory of algebra of logic, correlation theory, general theory of random functions, theory of statistical decisions and probability theory.*

Keywords: *efficiency criterion, complex systems, optimization, evaluation algorithm*

Актуальність теми. Поняття ефективності якості і оптимальності займає важливе місце в теоріях стосовно інформаційних систем, а також для оцінювання методів обробки інформації, які використовуються в цих системах. Для оцінки ефективності використовуються критерії. Критерій – це показник або мера ефективності якості і оптимальності системи. Критерії можуть бути приватні і загальні. З обґрунтуванням і вибором критеріїв оцінки ефективності і оптимізації доводиться стикатися на всіх етапах моделювання систем. Складність цієї задачі полягає в тому, що для складних систем не вдається обрати єдиний критерій оцінки ефективності і оптимальності. Тому доводиться вирішувати задачу багатокритеріального ранжування або оптимізації, головним в цьому є вибір і обґрунтування принципу компромісу, тобто узагальненого скалярного критерію.

Метою роботи являється підвищення ефективності контролю, управління і оптимізації при розробці та експлуатації комп'ютеризованих систем. Синтез будь-якої системи, зокрема складної інформаційної системи, слід починати з

вибору та обґрунтування критеріїв оцінки ефективності, якості та оптимізації. При цьому необхідно вибрати такий критерій, який дозволив би синтезувати оптимальний процес і складну систему за найважливішими показниками якості ефективності.

Під критерієм розуміється міра, що дозволяє проводити кількісні та якісні оцінки для класифікації системи або вибору кращого варіанту серед заданої множини варіантів.

Критерій виводиться методом індукції, тобто від часткового до загального. При цьому окремі критерії можуть розглядатися як критерії оцінки якості роботи складних інформаційних систем. Комплексна інформатизаційна система представлена автоматизованою системою управління об'єктом комплексної інформатизації.

Критеріями якості роботи автоматизованої системи є точність, ймовірність виконання завдання, швидкість, вартість, маса та об'єм, інформаційна ємність та загальні витрати на виробництво та експлуатацію системи.

Алгоритм роботи автоматизованої системи - це набір правил та інструкцій, які визначають поведінку системи в процесі управління об'єктом. Зазвичай в процесі управління об'єктом чітко визначені правила та інструкції, тобто процес здійснюється за детермінованим алгоритмом.

При оптимізації автоматизованої системи методом Монте-Карло або іншим імовірнісним методом правила та інструкції задаються статистично, тобто управління здійснюється за недетермінованим алгоритмом.

Складна автоматизованої системи, як правило, включає наступні основні функціонально пов'язані пристрої [1,2]:

- пристрої для отримання інформації безпосередньо від об'єкта і перетворення її у форму, зручну для подальшого використання, називаються пристроями первинної обробки інформації;
- пристрої, що регулюють весь процес приготування, які є пристроями вторинної обробки інформації;
- пристрої, що використовують інформацію для зміни стану об'єкта і автоматизованої системи в процесі управління, а також пристрої для індикації і запису інформації, називаються пристроями кінцевої обробки інформації.

Кожна група цих пристроїв працює за власними алгоритмами, синтез яких має здійснюватися з урахуванням стану об'єкта, що описується математичною моделлю, цілей окремих етапів управління, досягнення яких оцінюється за відповідними критеріями кількісних характеристик ефектів екстерналій та інтерналій, а також технічної реалізованості алгоритмів.

Алгоритм - це опис суворой послідовності виконання операції в часі та просторі.

На рівні алгебри логіки можна використовувати логістичний оператор $F(z)$, що приймає значення 1 або 0. Одиниця в цьому випадку відповідає виконанню системою завдання з отримання заданого ефекту, 0 - невиконанню системою завдання з отримання заданого ефекту.

Теорія кореляції може використовувати математичне сподівання m_x , середньоквадратичне відхилення σ_x , коефіцієнт кореляції τ_x та нормальний закон розподілу ймовірностей $F_H(t, \tau)$.

У загальній теорії випадкових функцій на додаток до раніше зазначених характеристик можуть використовуватися коефіцієнт ексцесу γ_x , коефіцієнт асиметрії ν_x і закон розподілу ймовірностей $F(t, \tau)$.

Теорія статистичних рішень може використовувати відношення правдоподібності $F(t, \tau)$.

Теорія ймовірностей може використовувати ймовірність розв'язку задачі $P(t, \tau)$.

Теорія ігор може використовувати ризик $L(P)$.

Теорія інформації може використовувати ентропію H , кількість інформації / пропускну здатність I/T_{max} .

Загальна теорія ефективності може використовувати узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінки ефективності, якості та оптимізації $E_{IC}(t, \tau)$.

Таким чином, алгоритм роботи автоматизованої системи складається з систем алгоритмів, своєчасне та надійне виконання яких повинна здійснювати ритмам.

Ідеальність алгоритму є лише необхідною умовою для передачі максимальної кількості інформації про процес в обсяг інформації, що отримується автоматизованою системою. Достатньою умовою є ідеальність пристроїв управління та контролю.

Ідеальна система алгоритмів управління дає максимальну кількість інформації, що дорівнює m бітам.

Обсяг інформації, наданої автоматизованою системою:

$$I_{nn}(t, \tau) = H_o(t, \tau)_{max} - \Delta H_{alg}(t, \tau), \quad (1)$$

де $\Delta H_{alg}(t, \tau)$ - ентропія через недосконалість алгоритму.

З рівності (1) випливає, що кількість отриманої інформації максимальна, якщо $\Delta H_{alg}(t, \tau) = 0$, що справедливо для ідеального алгоритму. Тому, враховуючи максимальну невизначеність стану об'єкта, що оцінюється рівністю, можна записати

$$I_{max\ max}(t, \tau) = H_{omax}(t, \tau) = m \quad (2)$$

На практиці використовуються наближені реальні алгоритми, оскільки важко, а іноді неможливо розробити та реалізувати ідеальні алгоритми.

Ми називаємо систему алгоритмів реальною, якщо вона вибрана з урахуванням реальних можливостей створення структури алгоритмів і реальних можливостей реалізації цих алгоритмів.

Реальна система алгоритмів дозволяє отримати середню кількість інформації

$$I_p(t, \tau) = I_{max}(t, \tau) < I_{max\ max}(t, \tau) \quad (3)$$

Оскільки на практиці нерівність $P(t, \tau) = 1/2$ завжди виконується, то $H_{op}(t, \tau) < H_o(t, \tau)_{max}$, тому середня кількість інформації може досягти рівня $I_{max}(t, \tau)$, тобто

$$I_p(t, \tau) = I_{max}(t, \tau) \quad (4)$$

Вибір реальної системи алгоритмів призводить до деякої втрати інформації, яка для ідеальних командно-контрольних пристроїв дорівнює

$$\Delta V_{alg}(t, \tau) = V_o(t, \tau) - V_{ACCS\ ap}(t, \tau), \quad (5)$$

де $V_{ACCS\ ap}(t, \tau)$ - кількість інформації, отриманої автоматизованою системою з реальними алгоритмами та ідеальними пристроями.

Природно, що чим менше значення $\Delta V_{alg}(t, \tau)$, тим досконалішою є система алгоритмів.

Висновок. Процес алгоритмізації дуже складний і вимагає високої кваліфікації фахівців з великим практичним досвідом, оскільки при розробці реальної системи алгоритмів фахівець, керуючись знаннями, повинен знехтувати деякими ідеальними алгоритмами, виключивши їх з процесу управління, спростити деякі з них, а деякі виключити з процесу після попереднього аналізу.

Виходячи з цього, обґрунтованим є введення поняття точності алгоритму. Під точністю алгоритму ми розуміємо точність, з якою можна розробити реальний алгоритм відносно ідеального.

Л і т е р а т у р а

1. Основи теорії інформації та кодування: Навчальний посібник / [І. В. Кузьмін, І. В. Троцишин, А. І. Кузьмін, В. О. Кедрус, В. Р. Лубчик] за ред. І. В. Кузьміна. Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2009. 373 с.
2. Kulivnuk, V., Kuzmin, I., Hladkyi, O., Gertsy, A., Tkachenko, T., Shparaga, T. (2023). Theoretical Fundamentals of Criteria for Evaluation of Efficiency, Quality and Optimization of Complex Informatology Systems. In: Proceedings of Eighth International Congress on Information and Communication Technology. ICICT 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 694, 329-337. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3091-3_26
3. Kuzmin, I.V., Rudyk, S.L, Gertsy, A.A. & Seleznova, R.V. (2017). Principles of construction of applied cybernetic systems. 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T-2017). IEEE, 237-240. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246387>

ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РІШЕНЬ КОНТРОЛЮ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Гладиш В.В. – аспірант, *hladysh_vv@gsuite.duit.edu.ua*
Голуб Г.М. – к.т.н, доцент, *gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE CONTROL SOLUTIONS IN COMPUTERIZED SYSTEMS

Kubrak A.V. – PhD student, *hladysh_vv @gsuite.duit.edu.ua*
Holub H.M. – PhD, Associate Professor, *gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The study examines the implementation of artificial intelligence to optimize control and management processes in computerized systems. Particular attention is paid to the use of machine learning methods, neural networks and decision-making algorithms to improve the efficiency of control over complex systems. Key challenges associated with the implementation of artificial intelligence are analyzed, in particular, integration with existing systems, ensuring the accuracy of algorithms and their security. The paper provides examples of successful application of artificial intelligence in anomaly detection, failure prediction and automation of management processes. The results of the study demonstrate that the implementation of artificial intelligence not only improves the productivity and accuracy of control in computerized systems, but also contributes to reducing costs and increasing the adaptability of systems to changing conditions. The conclusions obtained may be useful for developers and implementers of modern information technologies.*

Keywords: *artificial intelligence, computerized systems, control efficiency, machine learning, fault prediction*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що у сучасні комп'ютеризовані системи є основою функціонування багатьох сфер діяльності, включаючи промисловість, медицину, транспорт, енергетику та фінанси. Зі зростанням складності та масштабів цих систем виникають нові виклики у забезпеченні ефективного контролю та управління. Ручне управління та традиційні методи аналізу даних стають менш дієвими через великий обсяг інформації та необхідність реагувати на події в реальному часі. У цьому контексті впровадження штучного інтелекту стає надзвичайно актуальним, адже він дозволяє автоматизувати процеси прийняття рішень, підвищувати точність аналізу та забезпечувати гнучкість у реагуванні на динамічні зміни. Алгоритми штучного інтелекту здатні не лише виявляти приховані

закономірності у великих масивах даних, але й прогнозувати можливі проблеми, що мінімізує ризики збоїв у роботі систем.

Метою роботи є аналіз та розробка підходів до впровадження штучного інтелекту для оптимізації процесів контролю та управління у комп'ютеризованих системах. Це включає підвищення точності та ефективності прийняття рішень, автоматизацію моніторингу, виявлення аномалій і прогнозування потенційних збоїв, а також інтеграцію штучного інтелекту з існуючими компонентами систем.

Штучний інтелект є потужним інструментом, який дозволяє вдосконалити процеси контролю в комп'ютеризованих системах за рахунок автоматизації рутинних задач, підвищення точності аналізу даних і швидкості прийняття рішень. Розглянемо основні способи застосування штучного інтелекту для оптимізації таких рішень. Одними з таких способів є автоматизація збору та обробки даних, виявлення аномалій та несправностей, прогнозування несправностей, оптимізація управлінських рішень, підтримка прийняття рішень, аналіз великих даних та реалізація візуалізації та інтерфейсів [1].

Автоматизація збору та обробки даних передбачає використання алгоритмів машинного навчання, які можуть швидко і точно опрацьовувати великі обсяги інформації, отриманої з різних джерел, таких як сенсори, IoT-пристрої чи бази даних. Завдяки цьому вдасться зменшити час, необхідний для аналізу, і покращити якість отриманих результатів, що є критично важливим для систем реального часу.

Виявлення аномалій та несправностей базується на аналізі патернів поведінки системи. За допомогою нейронних мереж або інших інструментів штучного інтелекту система може автоматично визначати відхилення від норми, що сигналізують про можливі проблеми. Наприклад, аномальна вібрація або зміна температури в обладнанні можуть бути ідентифіковані як попередження про потенційну несправність.

Прогнозування несправностей є однією з ключових переваг штучного інтелекту. Використовуючи історичні дані та алгоритми аналізу часових рядів, системи штучного інтелекту здатні передбачати моменти, коли обладнання або компонент може вийти з ладу. Це дозволяє планувати технічне обслуговування заздалегідь, мінімізуючи ризик простоїв і фінансових втрат [2].

Оптимізація управлінських рішень за допомогою штучного інтелекту включає розподіл ресурсів у реальному часі, автоматизацію процесів і адаптацію до змінних умов. Наприклад, у логістичних системах це може означати оптимізацію маршрутів доставки, враховуючи поточні умови на дорогах і терміни виконання замовлень.

Підтримка прийняття рішень забезпечується експертними системами та технологіями глибокого навчання, які пропонують рекомендації для оператора чи менеджера. Наприклад, у разі виявлення несправності система може запропонувати кілька варіантів її вирішення з прогнозом їх ефективності [3].

Аналіз великих даних дозволяє комп'ютеризованим системам опрацьовувати величезні обсяги інформації для виявлення складних закономірностей. Це особливо корисно у сферах, де є велика кількість взаємопов'язаних змінних.

Реалізація візуалізації та інтерфейсів включає інтеграцію інструментів комп'ютерного зору та технологій доповненої реальності для більш зручного моніторингу та управління процесами. Наприклад, використання інтерфейсів на базі штучного інтелекту дозволяє операторам отримувати наочні дані у вигляді графіків, 3D-моделей або інтерактивних візуалізацій у реальному часі.

Таким чином, штучний інтелект не лише оптимізує існуючі процеси контролю, але й відкриває можливості для створення більш адаптивних, точних та інноваційних систем, які відповідають сучасним викликам. Його впровадження сприяє не тільки покращенню ефективності роботи комп'ютеризованих систем, але й забезпеченню їхньої надійності, що є критично важливим у різних сферах діяльності.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що штучний інтелект є ключовою технологією, яка відкриває нові можливості для вдосконалення процесів контролю в комп'ютеризованих системах. Його використання забезпечує автоматизацію рутинних задач, підвищує точність аналізу даних, пришвидшує прийняття рішень та оптимізує управлінські процеси. Завдяки впровадженню штучного інтелекту виявлення аномалій, прогнозування несправностей та підтримка прийняття рішень досягають нового рівня ефективності, що сприяє мінімізації ризиків і підвищенню надійності систем.

Л і т е р а т у р а

1. Коваленко О.М. Використання технологій штучного інтелекту для управління виробничими процесами. Вісник Харківського національного університету радіоелектроніки, 2019, № 5, С. 34-40.
2. Мішкін Д.А., Петров В.П. Прогнозування несправностей у промислових системах на основі машинного навчання. Збірник наукових праць НТУУ «КПІ», 2020, № 12, С. 65-72.
3. Бейко В.М., Шебанін В.А. Основи автоматизації та комп'ютерного управління. Київ: Наукова думка, 2018.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

Голуб Г.М. – к.т.н, доцент, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*
Руденко Ю.С. – аспірант, *rudenko_yus@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

METHODS FOR OPTIMIZING SOLUTIONS TO THE TRANSPORTATION PROBLEM

Holub H. M. – PhD, Associate Professor, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*
Rudenko Y.S. – PhD student, *rudenko_yus@gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The transportation problem is a fundamental issue in operations research and linear programming, aiming to minimize the cost of distributing resources from suppliers to consumers. This topic explores methods for optimizing classical approaches to solving the transportation problem, focusing on enhancing efficiency and accuracy. The research includes a comparative analysis of traditional algorithms, such as the Northwest Corner, Least Cost, and Potential methods, alongside modern adaptations that leverage computational tools and advanced algorithmic strategies. Practical applications of optimized methods are highlighted in fields like logistics, supply chain management, and production planning. Future research may address the development of multi-objective solutions and adaptation for large-scale datasets.*

Keywords: *Transportation problem, optimization, algorithm*

Актуальність дослідження зумовлена зростаючою потребою у високоефективних рішеннях для оптимізації логістичних та ресурсних процесів у сучасному світі, де швидкість і точність розподілу ресурсів мають значний вплив на загальну ефективність підприємств і галузей. Транспортна задача є основною моделлю, яка дозволяє вирішувати завдання оптимального розподілу ресурсів, але класичні методи часто не забезпечують достатньої продуктивності та гнучкості при роботі з великими обсягами даних або в умовах, що швидко змінюються [1].

Метою роботи є проведення аналізу методів розв'язання транспортної задачі (методи Північно-Західного кута, мінімальних витрат, потенціалів), а також розробка та вдосконалення методів розв'язання транспортної задачі, які дозволяють досягти оптимального розподілу ресурсів при мінімальних витратах часу та обчислювальних ресурсів. Для цього потрібно виявити недоліки методів, що існують, розробити модифіковані підходи, що дозволять

оптимізувати процес розв'язання транспортної задачі, інтегрувати розроблені методи з сучасними комп'ютерними технологіями для покращення продуктивності, а також провести тестування та порівняння запропонованих методів на практичних прикладах та симуляційних моделях для оцінки їхньої ефективності.

Важливим завданням є детальне виявлення недоліків існуючих методів, які можуть включати надмірну обчислювальну складність, недостатню точність прогнозів або нездатність враховувати змінні умови. На основі цього аналізу необхідно розробити нові підходи, що дозволять оптимізувати процес розв'язання транспортної задачі, забезпечуючи більш швидкі та точні результати.

З розвитком комп'ютерних технологій і появою нових підходів у програмуванні виникла можливість значно вдосконалити класичні алгоритми. Оптимізація методів вирішення транспортної задачі сприяє зниженню витрат на логістичні процеси, скороченню часу розрахунків і підвищенню точності результатів, що особливо актуально для великих підприємств і комплексних логістичних систем [2, 3].

Для перевірки методів оптимізації важливо провести тестування розроблених методів на практичних прикладах та симуляційних моделях. Це допоможе оцінити їхню ефективність в реальних умовах, визначити можливі ризики та шляхи їхнього мінімізації, а також порівняти нові методи з існуючими для підтвердження їхньої переваги.

Крім того, важливим є розвиток автоматизованих інформаційних систем та штучного інтелекту, які дозволяють здійснювати більш точні прогнози і приймати оптимальні рішення на основі великих обсягів даних. Оптимізовані алгоритми для розв'язання транспортної задачі можуть бути інтегровані в такі системи для підвищення їхньої ефективності й автономності. Це відкриває перспективи для застосування даних методів у нових сферах, таких як електронна комерція, управління міською інфраструктурою, фінансовий сектор та аграрний сектор, де використовуються модифіковані варіанти транспортної задачі.

Впровадження інноваційних методів оптимізації має важливе значення не тільки для економічного аспекту, але й для соціального та екологічного. Підвищення ефективності транспортних систем сприяє зменшенню впливу на довкілля, зокрема, зменшенню викидів парникових газів та споживання енергоресурсів. Це також сприяє розвитку сталого транспорту, що відповідає глобальним екологічним цілям.

Крім того, поліпшення методів вирішення транспортної задачі дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємств, зменшуючи витрати на

логістику та забезпечуючи швидшу доставку товарів та послуг. Це є ключовим фактором у сучасній економіці, де швидкість та ефективність логістичних процесів визначають успіх компаній на ринку.

Таким чином, дослідження методів оптимізації вкрай актуальним і може мати вагомий вплив на підвищення ефективності ресурсного управління у різних галузях.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що класичні методи розв'язання транспортної задачі, такі як метод Північно-Західного кута, метод мінімальних витрат та метод потенціалів, мають обмеження при застосуванні до задач великих розмірностей і в умовах, що постійно змінюються. Зокрема, вони виявилися малоефективними щодо швидкості обчислень і оптимального використання ресурсів у сучасних інформаційно-управляючих структурах [2, 4].

Впровадження модифікованих алгоритмів і адаптація їх до сучасних обчислювальних систем може підвищити ефективність розв'язання транспортної задачі.

Л і т е р а т у р а

1. Дослідження операцій: конспект лекцій / Шебаніна О.В. та ін. Миколаїв: МНАУ, 2021. 150 с.
2. Бартіш М.Я., Дудзяний І. М. Дослідження операцій. Частина 1. Лінійні моделі : підручник. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 168 с.
3. Стецюк П.І., Хом'як О.М., Ляшко В.І. Двоетапна транспортна задача з невідомими потребами споживачів, 2022. 5 с.
4. Меншикова О.В., Чмир О.Ю., Карабин О.О. Дослідження операцій : навч. посіб. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 196 с.

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ У ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ: ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ

Данак О.Ю. – аспірант, *danak_oya@gsuite.uit.edu.ua*
Стасюк О.І. – д.т.н., професор, *ostasuk177@gmail.com*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

EFFICIENT ENERGY USE IN MANUFACTURING: APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Danak O.Y. – Postgraduate student, *danak_oya@gsuite.uit.edu.ua*
Stasyuk O.I. – Dr. Tech. Sc., Professor. *ostasuk177@gmail.com*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *This study addresses the essential topic of improving energy efficiency in industrial production by leveraging advanced technologies to decrease energy usage and lessen environmental impact. It examines the application of cutting-edge manufacturing techniques, smart energy management systems, and the integration of renewable energy sources and novel materials to boost energy performance. The research also considers the role of artificial intelligence in optimizing energy use and the advantages of shifting towards renewables. Furthermore, this discussion delves deeper into the ways in which innovative materials, advanced technologies, and cutting-edge nanotechnologies play a significant role in the development and production of energy-efficient products and solutions. Additionally, comprehensive and holistic approaches, such as the implementation of intelligent supply chain management systems and fostering cross-industry collaboration, are thoroughly examined for their considerable impact on improving and optimizing energy efficiency across various sectors.*

Keywords: *energy optimization, industrial manufacturing, advanced technologies, AI integration*

Актуальність дослідження. Ця робота акцентує увагу на питанні енергоефективності в промисловості та її значенні для сучасного суспільства і довкілля. Сьогодні промислові галузі характеризуються зростаючим споживанням енергії, що створює екологічні ризики та сприяє несталої використанню енергетичних ресурсів.

Основна мета – зменшення енергетичних витрат і зниження негативного впливу на довкілля у промислових процесах, що можна досягти через низку визначених завдань [1]. Через підвищення енергоспоживання та посилення

екологічного навантаження питання енергоефективності набуває все більшої ваги в сучасному виробництві. Метою цього дослідження є аналіз можливостей застосування новітніх технологій для ефективного зниження енерговитрат і мінімізації екологічних наслідків у промисловості [2].

Огляд сучасних технологій для зниження енергетичних витрат

Дослідження інноваційних технологій, які сприяють оптимізації енергоспоживання в виробничих процесах, з прикладами успішних впроваджень [3]. Енергоефективні виробничі технології охоплюють автоматизовані системи, що дозволяють значно покращити управління енергоспоживанням. Інтелектуальні енергетичні системи забезпечують моніторинг і регулювання споживання енергії в реальному часі на підприємствах.

Інтегровані енергетичні системи

Роль штучного інтелекту та аналітичних платформ у розробці ефективних стратегій енергетичного управління, а також переваги автоматизованого моніторингу енергоспоживання. Автоматизовані системи, інтелектуальне прогнозування, ефективне управління виробничими процесами та інфраструктурою, а також моніторинг та звітність для підприємств є ключовими елементами сучасного енергетичного менеджменту [4].

Відновлювальні джерела енергії

Аналіз можливостей впровадження сонячної та вітрової енергії в промисловості, а також економічні та екологічні вигоди переходу на відновлювані ресурси [1]. Використання таких джерел енергії, як сонячна та вітрова, в промисловому виробництві свідчить про потенціал досягнення більш сталого та екологічно безпечного виробництва. Інноваційні матеріали та нанотехнології також можуть відігравати важливу роль у створенні енергоефективних і екологічно чистих продуктів.

Інноваційні матеріали

Аналіз новітніх матеріалів і нанотехнологій, які використовуються для розробки енергоефективних продуктів, а також їх вплив на зменшення ваги та енергоспоживання під час виробництва [2]. Досліджуються нанотехнології та їхній внесок у підвищення енергоефективності, а також новітні сонячні матеріали, що застосовуються для виробництва електроенергії. Вивчення біоматеріалів та їхньої ролі в екологічній стійкості, а також енергоефективних полімерів і композитів. Обговорюється ефективне використання ресурсів та процеси рециклінгу.

Управління ланцюгами постачання в інтегрованих системах

Розгляд стратегій управління ланцюгом постачання, що сприяють енергоефективності, а також важливість співпраці між підприємствами і їхній

вплив на загальний екологічний слід [3]. Інтегровані системи управління ланцюгом постачання відкривають нові можливості для підвищення енергетичної ефективності. Аналіз фінансових переваг та оцінка економії демонструють економічні вигоди від впровадження заходів щодо підвищення енергоефективності.

Висновок. Дослідження зосереджено на енергоефективності в промисловому виробництві через використання сучасних технологій для зменшення енергетичних витрат та мінімізації екологічного впливу. У роботі було проаналізовано передові технології, інтелектуальні системи енергетичного управління, відновлювані джерела енергії та інноваційні матеріали. Встановлено, що запровадження енергоефективних технологій і інтегрованих управлінських стратегій може значно зменшити енергетичні витрати.

Результати підкреслюють важливість співпраці між промисловими підприємствами і застосування штучного інтелекту для оптимізації процесів. Пропонуються рекомендації для практичного впровадження отриманих знань у сфері енергоефективності. Це дослідження може суттєво сприяти розвитку сталого і ефективного виробництва.

Л і т е р а т у р а

1. Bhatia, S., & Kumar, R. (2019). Energy Efficiency in Industrial Processes: An Overview Energy Reports 5, 89-98. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com> (дата звернення 29.10.2024)
2. International Energy Agency (IEA). (2021). Energy Efficiency 2021: Analysis and Outlook to 2024. IEA Publications. Режим доступу: <https://www.iea.org> (дата звернення 28.10.2024)
3. Gupta, H., & Singh, R. (2018). The Role of Renewable Energy Sources in Sustainable Industrial Development. International Journal of Energy Economics and Policy, 8(4), 38-45. Режим доступу: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep> (дата звернення 25.10.2024)
4. Huang, G., & Zhang, X. (2018). Application of Artificial Intelligence in Energy Management Systems. Applied Energy, 226, 90-101. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918308> (дата звернення 30.10.2024)

ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Демченко Д.С. – магістрант, demchenko_ds@gsuite.duit.edu.ua

Голуб Г.М. – к.т.н., доц., golub_gm@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES INTO THE PROCESS OF MONITORING AUTOMATION FACILITIES IN RAILWAY TRANSPORT

Demchenko D.S. – master's student, demchenko_ds@gsuite.duit.edu.ua

Holub H.M. – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
golub_gm@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technology
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *The article describes that adherence to the modern concept of threshold diagnosis reduces the effectiveness of monitoring systems and that the "human factor" has a decisive influence on the results of diagnosis and forecasting. The development of continuous monitoring should be based on the intellectualization of diagnostic information processing and the integration of systems of continuous monitoring of infrastructure facilities maintained in various divisions of the railway. First, changes should be made at the concept stage of the continuous monitoring system. On the basis of intelligent data processing, the requirements and criteria for registration of failure events and pre-failure states of diagnostic objects should be formulated. The article formulates the basic terminology that regulates the functioning of monitoring systems, and specifies the commonly known concept of the pre-failure state. It is emphasized that the existing guidelines for technical maintenance and the standards of monitoring systems developed on their basis are closely related to the new principles of data processing. Taking into account these features at the stage of development and design of the monitoring system, it is possible to increase its effectiveness compared to the existing monitoring systems on railways.*

Keywords: *analysis methods, diagnostic events, maintenance, digitization, threshold data processing*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що дотримання сучасної концепції порогової діагностики знижує ефективність систем моніторингу і що «людський фактор» має вирішальний вплив на результати діагностики та прогнозування. Розвиток безперервного моніторингу повинен базуватися на інтелектуалізації обробки діагностичної інформації та інтеграції систем безперервного моніторингу об'єктів інфраструктури, що обслуговуються в різних підрозділах залізниці. По-перше, зміни повинні бути внесені вже на

стадії концепції системи безперервного моніторингу. На основі інтелектуальної обробки даних повинні бути сформульовані вимоги та критерії реєстрації відмовних подій та передвідмовних станів об'єктів діагностики. У статті сформульовано основну термінологію, що регламентує функціонування систем моніторингу, та уточнено загальновідоме поняття передвідмовного стану. Підкреслюється, що існуючі керівництва з технічного обслуговування і розроблені на їх основі стандарти систем моніторингу тісно пов'язані з новими принципами обробки даних. Враховуючи ці особливості на етапі розробки та проектування системи моніторингу, можна підвищити її ефективність порівняно з існуючими системами моніторингу на залізницях.

Метою роботи є проведення оглядового аналізу проблем діючих інструкцій та стандартів, що розробляються.

Використання машинних методів аналізу дозволяє вирішити проблему підвищення ефективності автоматизації обробки діагностичної інформації у технічному плані. Однак іншою проблемою, яка постає на шляху розробника системи безперервного моніторингу, неодмінно стає необхідність відповідності діючим інструкціям з обслуговування та галузевим стандартам (які, до речі, найчастіше спираються саме на інструкції з обслуговування). Розробник ставить перед собою хибну мету, відповідаючи на питання, як автоматизувати ту чи іншу роботу в інструкції з технічного обслуговування, тоді як має діяти зовсім інакше і шукати відповідь на запитання: якими діагностичними параметрами необхідно оперувати для отримання достовірного діагнозу та прогнозу?

Будь-яка діяльність з розробки систем моніторингу пов'язана з аналізом внесених до спеціальних інструкцій робіт з обслуговування пристроїв силами технічного персоналу відповідних підрозділів та можливої їх повної або часткової автоматизації [1]. Якщо для пристроїв залізничної автоматики процедура автоматизації робіт з технічного обслуговування, хоч і часткова, є можливою (оскільки роботи, описані в діючій інструкції з обслуговування, в основному спрямовані на вимірювання електричних параметрів), то для об'єктів інших господарств пряма автоматизація робіт без зміни діючих інструкцій практично нереальна (читач може відкрити будь-яку інструкцію з технічного обслуговування та ремонту, щоб переконатися в цьому).

Але навіщо і як розроблено ці інструкції?

Будь-які інструкції з технічного обслуговування на залізницях України призначені саме для періодичного спостереження за технічним станом об'єктів, що обслуговуються, що саме пов'язано з підтримкою їх відмовостійкості. Вони розроблялися ще ХХ в., яких еволюція в ХХІ в. має практично нульову швидкість: інструкції від однієї до іншої редакції майже не змінюються. Варто

порівняти інструкції останніх 20–25 років щодо обслуговування, наприклад, пристроїв залізничної автоматики або енергопостачання, щоб зрозуміти це. З розвитком засобів автоматичного визначення технічного стану об'єктів автоматики з'являються деякі пункти, присвячені даним засобам (зокрема пункти про їх обслуговування). Впроваджуються технології автоматизації обслуговування на основі штрихкодування та створення громіздких баз даних, інформацію в які заносить людина (а не система автоматично) [2]. І це використання триває протягом майже двадцяти років, не приносячи до очікуваного результату. Приймаються «метушні» та неефективні рішення щодо автоматизації технічного обслуговування, і все частіше здається, що щось зроблено не так, як слід.

Проблема є очевидною, але погляди розробника та замовника зосереджені зовсім на іншому – як у рамках діючих інструкцій та стандартів вирішити поставлене завдання. Виходить, що розробник засобів автоматизації технічного обслуговування в галузі залізничного транспорту знаходиться сьогодні в рамках різноманітних інструкцій та галузевих стандартів (часто спираються на них), а його технічні рішення виявляються не такими вже корисними.

Прикладами цього є розроблені наприкінці ХХ ст. і системи безперервного моніторингу пристроїв залізничної автоматики, що впроваджуються досі: частка корисної інформації від засобів моніторингу, за повідомленнями фахівців, не перевищує 5 %, є велика кількість помилково виявлених діагностичних подій, інформаційний фон перевантажений, а рівень автоматизації обробки інформації – майже нульовий. Системи, реалізовані за застарілими принципами, продовжують тиражуватися на мережі залізниць, принципово не змінюючись із часом. Але час йде вперед, змінюються елементи та засоби автоматики, з'являються нові технології обробки даних, точаться розмови про цифровізацію залізниць. Звісно, мають змінюватись і підходи до реалізації систем моніторингу та автоматизації технічного обслуговування на залізничному транспорті [3].

Практика показує, що сьогодні впроваджується велика кількість вимірювальних засобів, ускладнюється робота всього комплексу, але якісного стрибка у технічній діагностиці не відбувається. Підсумок: системи моніторингу збирають велику кількість псевдофільтрованих діагностичних даних і віддають їх людині-користувачу, яка далі приймає рішення про їх обробку, використання тощо. Все зводиться до експертної оцінки даних моніторингу, до ручного аналізу графіків, вимірюваних величин, до визначення моменту досягнення порога запобігання та відмови. Автоматизація передбачає зовсім інше: діагностичні дані повинні використовуватися в управлінні з

мінімізацією людської ролі та, у кращому разі, зі зведенням цієї ролі до ролі спостерігача за технологічним процесом.

«Технічне обслуговування – комплекс операцій або операція з підтримки працездатності або справності виробу при використанні за призначенням, очікуванням, зберіганням та транспортуванням». Для підтримки «працездатності чи справності» сьогодні як основний метод використовується регламентний метод або періодичний моніторинг технічного стану об'єкта діагностування згідно з розробленими інструкціями. Роботи, результати яких найчастіше передбачувані, технічним персоналом підрозділів дирекцій інфраструктури залізниць можуть проводитись недоброякісно, а в ряді випадків не проводитись зовсім [4].

Крім того, є проблема проведення технічного обслуговування у потенційно небезпечних районах, у безпосередній близькості до залізничного полотна та у зоні дії відповідального технологічного процесу перевезень. Впровадивши систему безперервного моніторингу того чи іншого об'єкта залізничної інфраструктури та наділивши її властивістю автоматизації ряду вимірювань, ми укладаємо її у жорсткі рамки. Корисність діагностичних даних вже на позначеному етапі видається сумнівною, адже це лише результат автоматизації роботи технічного персоналу.

Наприклад, автоматизація вимірювання напруг у контрольних точках схемних рішень тональних рейкових ланцюгів у господарстві залізничної автоматики та телемеханіки пов'язана лише з отриманням чисельних даних, але не з автоматичною видачею діагнозу та прогнозу; аналіз залишається за людиною [5]. Іншими словами, система моніторингу тих самих засобів залізничної автоматики залишається на етапі старої концепції рівня системи диспетчерського контролю середини ХХ ст. Опція використання сучасних засобів автоматизації залишається «непідключеною» навіть за наявності тимчасових засобів обробки аналогових та цифрових сигналів.

Проблема вирішується шляхом розробки принципово нових систем моніторингу, заснованих на використанні сучасних технологій отримання та обробки діагностичної інформації, що дозволяють не автоматизувати наявні роботи з технічного обслуговування, прописані в інструкціях, а дати відповідь на запитання: скільки часу пристрій буде безвідповідальним. - скарбницю і коли гарантовано необхідно провести його ремонт чи заміну, фактично – вказати залишковий ресурс технічного об'єкта чи системи [6]. Такі технологічні рішення щодо безперервного моніторингу можна реалізувати лише за зміни самих інструкцій та створення принципово нового, високоякісного засобу підтримки відмовостійкості об'єктів інфраструктури залізниць, заснованого не на пороговій обробці даних з фіксацією подій, а на інтелектуальному аналізі

діагностичних. В даний час процес впровадження даних систем йде "від зворотного": спочатку створюється (або створено) нормативний документ під старий концепт, а потім провадиться «невелика» модернізація діючої системи. Принципово нових технічних рішень немає, а є ускладнення та подорожчання діючих систем [7].

Висновок. Новий етап підвищення відмовостійкості об'єктів залізничної інфраструктури пов'язаний із удосконаленням систем безперервного моніторингу технічного стану, забезпеченням високої достовірності діагнозу та прогнозу та використанням їх безпосередньо при реалізації відповідальних технологічних процесів з мінімізацією частки участі людини. Все це вимагає не просто створення нового засобу моніторингу з новою концепцією та принципами реалізації, а й перегляду інструкцій з технічного обслуговування та ремонту об'єктів залізничної інфраструктури, що використовуються в даний час (а також галузевих стандартів, що спираються на них). Назрів перехід від децентралізованого розвитку окремих напрямів у галузі автоматизації обслуговування до системного підходу у рішеннях та вдосконалення інфраструктурного комплексу з урахуванням сучасного розвитку техніки та технологій.

Перехід від використання системами моніторингу порогової концепції обробка точкових параметрів до комплексної інтелектуальної обробки на основі машинних методів аналізу із застосуванням розвинених методів прогнозування дозволяє підвищити ефективність процедури моніторингу, а отже, веде у напрямку реалізації технології «розумного» залізничного транспорту (smart railway transport).

Л і т е р а т у р а

1. Railway Safety in the European Union. Safety overview 2017. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. 47 p.
2. Goolsby M. E. Railroad Grade Crossing Monitoring System / M. E. Goolsby, M. J. Vichich, A. P. Voigt // Texas Transportation Institute, USA, 2003. 32 p.
3. Domingues J. L. M. Diagnostic levels in railway applications / J. L. M. Domingues // Signal + Draht. 2004. № 1/2. Pp. 31-34.
4. Oh S. Approaches for Connection of Vision based Monitoring System with Railway Signal System for Train Emergency Stop / S. Oh, S. Park, E. Joung // International Conference on Information and Multimedia Technology (ICIMT'09), 16-18 December 2009, Jeju, Island. Pp. 59-63.
5. Grover J. Wireless Sensor Network in Railway Signalling System / J. Grover, A. Grover // 2015 5th International Conference on Communication Systems and Network Technologies. Pp. 308-313.
6. Ahmad F. Component Based Architecture for the Control of Crossing Regions in Railway Networks / F. Ahmad, A. Sadiq, A. M. Martinez-Enriquez, A. Muhammad, M. W. Anwar, U. U. Bajwa, M. Naseer, S. A. Khan // 2017 16th IEEE International Conference on

Machine Learning and Applications (ICMLA), 18–21 December 2017, Cancun, Mexico. – Pp. 540-545.

7. Darwish T. S. Fog Based Intelligent Transportation Big Data Analytics in The Internet of Vehicles Environment : Motivations, Architecture, Challenges and Critical Issues /T. S. Darwish, K. A. Bakar // IEEE Access. 2018. Vol. 6. Pp.86 -88.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Журенко О.І. – бакалаврант, zhurenko_oi@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

APPLICATION OF MODERN APPROACHES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATED CONTROL

Zhurenko O.I. – bachelor's student, zhurenko_oi@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *This article explores the application of artificial intelligence in automated control systems, focusing on modeling, optimization, and forecasting. By leveraging deep learning and machine learning methods, these systems can adapt to variable conditions, enhancing forecasting accuracy and optimizing essential processes. The study presents examples of AI integration across various automated systems, such as energy management, HVAC optimization, quality control in the food industry, and production management.*

Keywords: *Artificial intelligence, optimization, modeling, forecasting, machine learning, intellectual management systems, automated control systems*

У сучасному світі технології штучного інтелекту (ШІ) активно впроваджуються в різні сфери, зокрема в системи автоматизованого управління. ШІ надає можливість моделювати, оптимізувати та прогнозувати процеси, що веде до значного підвищення їх ефективності та адаптивності.

Мета дослідження полягає у вивченні сучасних підходів до застосування штучного інтелекту в автоматизованих системах управління з акцентом на моделюванні, оптимізації та прогнозуванні процесів. Дослідження має на меті показати, як використання ШІ, зокрема методів глибокого та машинного навчання, дозволяє адаптувати системи до змінних умов, підвищуючи точність прогнозів, оптимізуючи витрати ресурсів і підвищуючи загальну ефективність. Окрім того, у роботі розглядаються приклади впровадження ШІ у різних

галузях, таких як енергетика, промислове виробництво та оборонна сфера, з метою покращення автоматизованих систем управління та забезпечення їхньої надійності і стійкості.

Одна з основних сфер застосування штучного інтелекту в автоматизованих системах це оптимізація в енергетичному секторі. Методи ШІ використовуються для оптимізації енергоспоживання будівель за допомогою систем управління HVAC (опалення, вентиляції та кондиціонування повітря). Системи враховують зміни погоди та умови навколишнього середовища для коригування роботи обладнання у реальному часі, що дозволяє зменшити споживання електроенергії та водночас дотримуватися екологічних стандартів. Методи навчання з підкріпленням (DRL) можна використовувати для встановлення оптимальних параметрів системи на основі даних про зовнішні умови, що призводить до зниження енергоспоживання [1-4].

Розвиток сучасних алгоритмів машинного навчання дав можливість впровадити моделювання систем автоматичного керування. Зокрема, нейронні мережі, що використовуються для аналізу великих обсягів даних, дозволяють створювати адаптивні моделі, здатні реагувати на зміни в навколишньому середовищі. У промисловому секторі, наприклад, штучний інтелект використовується для моделювання поведінки виробничих процесів, допомагаючи знизити витрати і підвищити продуктивність [1, 4].

Наступна область застосування у виробництві продуктів харчування [1-3]. Штучний інтелект допомагає контролювати якість продукції в режимі реального часу. Поєднуючи традиційні технологічні вхідні дані з аналізом відеозображень, система автоматично виявляє можливі відхилення у виробничому процесі і вчасно втручається, щоб мінімізувати відхилення від стандарту. Це зменшує кількість браку, підвищує якість виготовленої продукції та зменшує витрату часу на виготовлення продукції.

ШІ також відіграє ключову роль у прогнозуванні в автоматизованих системах [1-4]. Аналізуючи історичні дані, системи можуть передбачити ймовірність виходу обладнання з ладу, що дає змогу проводити профілактичне обслуговування та запобігати простоям. Це не тільки підвищує надійність системи, але й знижує витрати на обслуговування.

Сучасні виробничі системи все частіше інтегрують штучний інтелект для автоматизації процесів управління [2]. Це стосується автоматизованого контролю якості, управління запасами та адаптивного управління виробничими процесами [1, 2].

В оборонній промисловості штучний інтелект (ШІ) і автоматизовані системи управління виконують низку завдань і сприяють підвищенню обороноздатності [5]. Найбільш помітним досягненням є безпілотні літальні

апарати (дрони), які можуть обирати цілі для розвідки, виявлення та відстеження ворожих цілей. Крім того, автоматизовані системи оборони можуть самостійно захищати критично важливу інфраструктуру від таких загроз, як ворожі ракети і бронетехніка, уникаючи необхідності втручання людини на етапі швидкого реагування.

Зазначу, що використання ШІ і автоматизації поширюється і на управління безпілотників. Дрони можуть обмінюватися інформацією і координувати свою поведінку, тим самим підвищуючи ефективність бойових місій у складних ситуаціях. Це робить корисними для розвідки і нападу в особливо складних або важкодоступних умовах [5]. Дослідження показують, що Китай і США активно тестують і розвивають ройові технології для підвищення ефективності операцій з декількома цілями, які є дуже мобільними і складними для перехоплення.

ШІ також використовується в проектах прогнозування бою і стратегічного моделювання, що дозволяє військовим швидше і точніше оцінювати можливі сценарії і оптимізувати операції [6]. Впровадження ШІ в автоматизовані системи управління зменшує кількість людських ресурсів, необхідних для виконання повторюваних завдань, і значно скорочує витрати на оплату праці, але збільшує потребу в кваліфікованих технічних фахівцях для управління цими системами.

Висновки. Дослідження демонструє значний потенціал штучного інтелекту у вдосконаленні автоматизованих систем управління завдяки його здатності до моделювання, оптимізації та прогнозування. Використання методів глибокого навчання і машинного навчання дозволяє цим системам адаптуватися до змінних умов, підвищуючи їх ефективність, точність і надійність. Однак, незважаючи на досягнутий прогрес, впровадження ШІ в автоматизовані системи управління пов'язане з певними викликами. Для забезпечення точності прогнозів та оптимізації необхідно працювати над покращенням якості даних, що використовуються для навчання моделей. Крім того, актуальним залишається питання сумісності обладнання і технологій від різних виробників, що ускладнює інтеграцію ШІ в існуючі інфраструктури. Ще одним важливим аспектом є необхідність оптимізації енергоспоживання систем ШІ, особливо в умовах великих обчислювальних навантажень. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку методів енергоефективності, удосконалення апаратної сумісності та покращення точності алгоритмів, що дозволить повною мірою розкрити потенціал штучного інтелекту в автоматизованих системах управління.

Л і т е р а т у р а

1. MDPI– Advances in Artificial Intelligence Methods Applications in Industrial Control Systems [Електронний ресурс]/ Режим доступу:

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/10962> (дата звернення 29.10.2024).

2. Control engineering– Evolution of Control Systems with Artificial Intelligence [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://www.controleng.com/articles/evolution-of-control-systems-with-artificial-intelligence/> (дата звернення 29.10.2024).

3. Oxford Academic – Applications of artificial intelligence in power system operation, control and planning [Електронний ресурс]/ Режим доступу: [Applications of artificial intelligence in power system operation, control and planning: a review | Clean Energy | Oxford Academic](#) (дата звернення 30.10.2024).

4. Воронко І.О. (2023) Застосування перспективних моделей об'єктів інтелектуалізації залізниці / Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців. «СУЧАСНА НАУКА: ІННОВАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ». Київ: УкрІНТЕІ, 227-230.

5. Army University Press – Artificial Intelligence in Modern Warfare Strategic Innovation and Emerging Risks [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/SO-24/SO-24-Artificial-Intelligence-Strategic-Innovation-and-Emerging-Risks/> (дата звернення 30.10.2024).

6. UK Parliament– Automation in military operations [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://post.parliament.uk/research-briefings/post-pn-0681/> (дата звернення 30.10.2024).

АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПЕКИ РУХУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ГАЛЬМОВИМ ОБЛАДНАННЯМ ЛОКОМОТИВІВ

Зорька В.О. – аспірант, *svem123@ukr.net*

Незліна О.А. – к.і.н., доц., *nezlina@ukr.net*

*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

ANALYSIS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRAFFIC SAFETY BY IMPROVING LOCOMOTIVE BRAKE EQUIPMENT MANAGEMENT PROCESSES

Zorka V.O. – Postgraduate student, *svem123@ukr.net*

Nezlina O.A. - Candidate of historical sciences, Associate professor,
nezlina@ukr.net

*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. *In the context of locomotive braking systems, improved control requires the integration of real-time data processing, predictive analytics, and adaptive control mechanisms. Modern systems are subject to the dynamics of long stopping distances and the critical need for gradual deceleration [1]. The application of deep learning, in particular convolutional neural networks (CNN), in its essence is a constant analysis of track condition, train weight and braking requirements.*

Keywords: *adaptive braking dynamics, integration of environmental data, load-dependent deceleration control, sequential processing of sensor data, adaptive controller tuning*

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження викликана проблемою підпорядкування сучасних систем довгих зупинкових шляхів і критичній потребі в поступовому уповільненні.

Мета роботи. Мета роботи дослідження полягає у розробці архітектури керування гальмівними системами локомотивів у реальному часі, використовуючи аналіз даних навколишнього середовища, рейкової системи потяга і моніторингу ключових показників з миттєвою адаптацією процесу гальмування.

Архітектура цієї потенціальної гальмівної системи спочатку полягає у зборі даних від різних датчиків, розташованих уздовж шляху потяга. Ці датчики фіксують інформацію про навколишнє середовище в режимі реального часу. Задля використання цих потоків даних, рівні CNN обробляють і аналізують сенсорні дані для виявлення негайних потреб у гальмуванні на основі швидкості, кривизни колії та майбутніх перешкод [2].

Управління гальмівною системою здійснюється за допомогою каскаду PID (Proportional-Integral-Derivative – пропорційно-інтегрально-derivативних) контролерів, налаштованих для обробки динамічного діапазону потреб гальмування потяга.

Основне рівняння PID у безперервній формі має такий вигляд:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Дане рівняння являє собою керуючий сигнал, де $e(t)$ є похибкою між бажаною та фактичною швидкістю уповільнення. Ця похибка динамічно обчислюється на основі відхилень сенсорних даних у реальному часі від попередньо визначених порогів безпеки. Пропорційний член $K_p e(t)$ регулює гальмівну силу відповідно до миттєвої похибки, тоді як інтегральний член $K_i \int e(t) dt$ компенсує за накопичені похибки понад час, забезпечуючи послідовне виправлення, включаючи невеликі розбіжності. Нарешті, похідний термін $K_d \frac{de(t)}{dt}$ реагує на раптові зміни похибки, дозволяючи системі швидко пристосовуватися до різких перешкод або відстежувати зміни.

Змінюючи константи PID для кожного сценарію гальмування, гальмівна система може динамічно оптимізувати швидкість уповільнення. У випадках більшого навантаження або крутих схилів пропорційне посилення K_p поступово збільшується, щоб застосувати сильнішу початкову гальмівну силу. Інтегральне і похідне підсилення регулюються, щоб запобігти надмірній або недостатній компенсації під час поступових переходів гальмування.

Прогнозна система коригування управління за посередництвом CNN, яка визначає шаблони у вимогах до гальмування на основі історичних даних і даних у реальному часі, представляється шляхом оновлення рівняння керування додатковими змінними, які кількісно визначають гальмівний тиск P_b , нахил θ і швидкість v у складеній формулі:

$$u(t) = K_p(e(t) + \alpha P_b) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + \gamma \theta + \delta v \quad (2)$$

де α , γ і δ є коефіцієнтами, налаштованими CNN для врахування нахилу та швидкості.

CNN навчається на наборах даних, які імітують різноманітні сценарії гальмування, фіксуючи випадки, коли стандартні методи гальмування можуть бути неефективними. Це попереджувальне навчання дозволяє CNN сприяти ефективності гальмування шляхом прогнозування гальмівної сили для кожної умови та забезпечення стабільності під час уповільнення. Архітектура мережі налаштована за декількома шарами для виділення функцій, починаючи зі

згорткових шарів, які аналізують просторові моделі в даних датчиків для виявлення швидких змін навколишнього середовища, а потім повністю пов'язаних шарів, які співвідносять ці моделі з потребами гальмування. Прогнозований вихід мережі, який використовується для зміни вхідного сигналу PID-контролю, підвищує загальну точність гальмування.

Обчислення гальмування в режимі реального часу вбудовується в головний контролер системи, який розроблений для мінімізації затримки та максимальної швидкості обробки. Прогнозний результат CNN у поєднанні з безперервним коригуванням від PID-регулятора дозволяє миттєво адаптувати гальмування, досягаючи контрольованого уповільнення з мінімальною похибкою.

Висновок. Підсумовуючи, інтеграція прогнозного аналізу на базі CNN з каскадними PID-регуляторами дозволяє покращити метод керування гальмівними системами потягів. Цей метод використовує сенсорні дані в реальному часі, параметри адаптивного керування та поглиблене навчання, забезпечуючи точну реакцію гальмування, її адаптацію та відповідність вимогам динамічного гальмування потяга. Такий підхід не тільки може покращити безпеку гальмування, але й посприяти ефективному поведженню з різними коліями та умовами навантаження.

Л і т е р а т у р а

1. Liu M., Jiang C., Yi J., Gao G., Deng Z., Zhu H. Numerical Investigation on the Heat Dissipation of Phase Change Materials Used in the High-Speed Train Brake System. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2024. № 254. DOI:10.1016/j.jweia.2024.105911.
2. Rihem F., Alhuwaimel S., Alzahrani S., Jaloud K., Quasim M. Deep Learning Control for Autonomous Robot. *Computers, Materials & Continua*, 2022. № 72. Pp. 2811-2824. DOI:10.32604/cmc.2022.020259.

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ FPV ДРОНА

Казмірчук О.В. – бакалаврант, *kazmirchuk_ov@gsuite.uit.edu.ua*

Герцій О.А. – к.т.н., доцент, *gertsy_ua@gsuite.uit.edu.ua*

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

FEATURES OF FPV DRONE CREATION AND PROGRAMMING

Kazmirchuk O.V. – bachelor's student, *kazmirchuk_ov@gsuite.uit.edu.ua*

Gertsy O.A. – Ph.D., Associate Professor, *gertsy_ua@gsuite.uit.edu.ua*

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper analyzes the recommendations for the creation of drones. The main advantages of FPV drones are identified, such as high maneuverability, realistic control, and flexibility of settings. With the increasing availability of modern microcontrollers, sensors and software platforms, new opportunities for programming autonomous drones are opening up. Disadvantages are shown to be short flight duration, complexity in setup, and legislative barriers that may limit the use of these drones. The prospective use of FPV drones in such areas as environmental monitoring, search and rescue operations, sports races and cinematography is substantiated.*

Keywords: *FPV drones, microcontrollers, artificial intelligence, autonomous operation, radio control*

Актуальність дослідження. FPV-дрони (First Person View) є важливим інструментом у різних галузях, таких як аерофотозйомка, спортивні перегони, інспекція інфраструктури, екологічний моніторинг та пошуково-рятувальні операції, виконання військових завдань (розвідка, вогневе ураження).

З розвитком технологій зростає доступність сучасних мікроконтролерів, датчиків і програмних платформ, що відкриває нові можливості для програмування автономних дронів.

FPV-дрони дозволяють використовувати передові алгоритми навігації, оптимізації маршрутів та комп'ютерного зору, що є особливо актуальним у дослідницьких проєктах і навчанні.

Метою роботи є аналіз та дослідження процесу створення й програмування FPV-дрона для забезпечення його ефективної роботи в умовах реального часу. Це включає аналіз переваг і недоліків FPV-дронів у порівнянні з іншими типами безпілотників; оцінку перспектив використання FPV-дронів у різних сферах.

FPV-дрони знаходять застосування у сучасних галузях, таких як:

- сільське господарство (моніторинг стану посівів);

- інфраструктурний моніторинг (інспекція мостів, дахів, електричних ліній);
- екологічний моніторинг (контроль забруднення, спостереження за дикими тваринами).
- виконання бойових завдань на тактичному рівні (радіус дії 5-20 км).

Ринок дронів стрімко розширюється, і FPV-дрони займають у ньому значну нішу завдяки своїм можливостям та універсальності. Вони використовуються як у розважальних цілях (перегони, зйомки), так і в серйозних професійних задачах (військові операції, будівництво, картографія, пошуково-рятувальні операції) [1].

Завдяки відкритим програмним платформам, таким як Betaflight, PX4 та ArduPilot, FPV-дрони стали доступними навіть для початківців. Це сприяє розвитку STEM-освіти, залучаючи молодь до вивчення програмування, електроніки та інженерії.

Поєднання FPV-дронів з алгоритмами машинного навчання дозволяє створювати автономні рішення для обробки відео в реальному часі, розпізнавання об'єктів і прийняття рішень. Це робить їх незамінними в сучасній індустрії робототехніки.

FPV-дрони дають змогу автоматизувати багато процесів, підвищуючи ефективність і скорочуючи витрати. Наприклад, вони використовуються в доставці товарів, що може стати революцією у сфері логістики.

Переваги FPV-дронів [2]:

1. Гнучкість і модульність: FPV-дрони легко адаптуються до різних потреб завдяки можливості змінювати компоненти (камери, двигуни, контролери) та програмне забезпечення.

2. Реалістичний контроль: Завдяки прямій трансляції відео (FPV), оператор має відчуття польоту "з першої особи", що значно полегшує управління у складних умовах.

3. Освітня цінність: Проекти зі створення FPV-дронів допомагають розвивати практичні навички у програмуванні, робототехніці та фізиці. Вони часто використовуються в навчальних програмах, хакатонах і конкурсах.

4. Економічна ефективність: FPV-дрони часто дешевші у розробці та експлуатації порівняно з професійними безпілотниками, що робить їх доступними для малого бізнесу та аматорів.

5. Широкі можливості автоматизації. Сучасні FPV-дрони можуть виконувати завдання з автономним польотом завдяки програмуванню маршруту і використанню датчиків (GPS, гіроскопи, барометри).

6. Технологічна доступність: Завдяки відкритим платформам (Betaflight, ArduPilot, PX4) розробка FPV-дронів стає доступною навіть для новачків.

7. Широкі можливості кастомізації. FPV-дрони можуть бути адаптовані для виконання різних завдань завдяки змінному обладнанню та програмному забезпеченню.

8. Розвиток практичних навичок. Процес створення та програмування FPV-дронів розвиває інженерні, програмні та дизайнерські навички.

9. Інноваційні рішення: Використання штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для програмування FPV-дронів дозволяє вирішувати складні завдання, наприклад, автономне орієнтування в просторі [3].

Недоліки FPV-дронів:

1. Обмежений час польоту. Через невелику ємність акумуляторів час польоту FPV-дронів зазвичай не перевищує 10-15 хвилин, що обмежує їх використання у тривалих операціях.

2. Для початківців налаштування апаратної частини, калібрування сенсорів та програмування може бути складним. Це потребує навчання та досвіду.

3. Технічні обмеження: нестабільність зв'язку на великій відстані; вразливість до погодних умов (дощ, сильний вітер); можливі помилки в програмному забезпеченні, які впливають на безпеку.

4. Регуляторні обмеження. У багатьох країнах законодавство щодо використання дронів є суворим. Для польотів потрібні реєстрація дрона, спеціальні дозволи або навіть сертифікація оператора.

5. Вартість обладнання. Хоча базові FPV-дрони відносно дешеві, моделі для професійного використання можуть коштувати значно дорожче.

6. Складність у налаштуванні. Початківцям важко освоїти складні процеси налаштування апаратної частини та програмного забезпечення.

Висновок. У результаті проведеної роботи проведено аналіз основних переваг FPV-дронів, такі як висока маневреність, реалістичний контроль, а також гнучкість налаштувань. Визначено недоліки, які можуть обмежувати використання FPV-дронів, зокрема, невелика тривалість польоту, складність у налаштуванні та законодавчі бар'єри. Обґрунтовано перспективність використання FPV-дронів у таких сферах, як екологічний моніторинг, пошуково-рятувальні операції, спортивні перегони та кінематографія.

Робота дозволяє не тільки поглибити розуміння процесів розробки FPV-дронів, але й стимулює дослідження та розвиток інновацій у сфері безпілотних технологій, відкриваючи нові можливості для їхнього застосування в сучасному суспільстві.

Л і т е р а т у р а

1. O. Yildirim, K. Diepold and R.A. Vural, "Decision Process of Autonomous Drones for Environmental Monitoring," 2019 *IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, Sofia, Bulgaria, 2019, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/INISTA.2019.8778341>

2. N. Ya'acob, M. Zolkapli, J. Johari, A.L. Yusof, S.S. Sarnin and A.Z. Asmadinar, "UAV environment monitoring system," *2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE)*, Kanazawa, Japan, 2017, pp. 105-109, <https://doi.org/10.1109/ICEESE.2017.8298395>.
3. V.Vergine, F.L. Benvenuto, S. De Giuseppe, M. Spedicato and A. Largo, "An Innovative Monitoring System Based on UAV and Auto-Remote Surface Vessel," *2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, Bol and Split, Croatia, 2024, pp. 1-6, <https://doi.org/10.23919/SpliTech61897.2024.10612515>.

РЕТРОСПЕКТИВА РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Казмірчук О.В. – бакалаврант, kazmirchuk_ov@gsuite.edu.ua
Кульбовський І.І. – к.т.н., доцент, kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua
Державний університет інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

RETROSPECTIVE OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS DESIGN METHODS

Kazmirchuk.O.V. – bachelor's student, kazmirchuk_ov@gsuite.edu.ua
Kulbovskiy I. I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua,
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article presents a retrospective analysis of the evolution of information system (IS) design methods. It characterizes the main stages in the development of design approaches: from traditional structural methods to modern agile (Agile) and modular approaches. The impact of changes in the technological environment, user needs, and the increasing volume of data on the evolution of IS design concepts is analyzed. Special attention is given to the integration of automated tools, DevOps methodologies, and the application of artificial intelligence in the processes of IS development. The advantages and challenges of each approach are summarized, and the prospects for further improvement of design methods are outlined in the context of rapid changes in information technology.*

Keywords: *information systems, design methods, retrospective analysis, Agile, DevOps, artificial intelligence*

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком інформаційних технологій та необхідністю адаптації проектних підходів до нових викликів. У сучасних умовах швидких змін технологічного середовища, збільшення обсягів даних, а також підвищення вимог до гнучкості та ефективності процесів розробки програмного забезпечення, традиційні методи проектування вже не здатні задовольнити вимоги ринку. Це ставить на порядок денний необхідність ретроспективного аналізу еволюції проектних підходів, що дозволяє виявити основні тенденції, переваги і обмеження кожного методу, а також оцінити їхню відповідність сучасним умовам. Окрім того, зростаючий попит на інтеграцію автоматизованих інструментів, застосування методологій DevOps і штучного інтелекту у процесах проектування інформаційних систем вимагає комплексного підходу до аналізу та удосконалення існуючих методів. Тому дослідження історії та перспектив розвитку методів проектування є важливим для подальшого вдосконалення практики розробки інформаційних систем в умовах швидко змінюваного технологічного ландшафту.

Метою роботи є проведення ретроспективного аналізу еволюції методів проектування інформаційних систем з акцентом на основні етапи їх розвитку та адаптацію до змінюваних технологічних умов. Робота має на меті визначити ключові тенденції у проектуванні ІС, починаючи від традиційних структурних методів до сучасних гнучких (Agile) і модульних підходів. Також, метою є оцінка впливу новітніх технологій, зокрема методологій DevOps та штучного інтелекту, на еволюцію підходів до проектування. На основі проведеного аналізу буде сформульовано висновки щодо переваг і недоліків різних підходів та визначено перспективи подальшого удосконалення методів проектування інформаційних систем в умовах швидких змін у сфері інформаційних технологій.

Інформаційні системи (ІС) розвиваються стрімко у відповідь на технічний прогрес. Спочатку методи проектування зосереджувалися на структурованих підходах, які ґрунтувалися на чітких та послідовних кроках. Однак з ростом вимог до гнучкості й адаптивності, з'явилися нові динамічні методи, такі як Agile і модульне проектування. Ці методи дозволяють системам змінюватися відповідно до вимог користувачів і змін технологічного середовища.

Проектування інформаційних систем (ІС) є важливою складовою розвитку технологічних процесів у різних сферах. За останні кілька десятиліть методи проектування ІС зазнали значних змін під впливом нових технологій, бізнес-вимог та змін у методологіях розробки програмного забезпечення. У цьому контексті важливо вивчити основні етапи еволюції методів проектування і визначити тенденції, які визначатимуть подальший розвиток ІС.

Традиційні структурні методи проектування (1970-1990-ті роки):

Перші методи проектування інформаційних систем ґрунтувались на структурних підходах, таких як метод структурного аналізу та проектування (SA/SD). Ці методи спрямовані на детальне визначення усіх етапів проектування ІС, від збору вимог до розробки архітектури та тестування. Основною характеристикою цих методів було суворість процесу та високий рівень формалізації. Вони давали змогу чітко визначати всі аспекти розробки, проте були малоефективними в умовах швидких змін, оскільки не враховували необхідність гнучкості і швидкої адаптації.

Об'єктно-орієнтоване проектування (1990-ті роки). На зміну структурним методам в 1990-ті роки прийшло об'єктно-орієнтоване проектування (ООП), яке було орієнтоване на створення моделей, що більше відповідали реальним процесам. ООП дозволило зменшити складність програмного забезпечення, зокрема через використання таких концепцій, як інкапсуляція, успадкування та поліморфізм. Це дало можливість створювати більш гнучкі й масштабовані

системи, зменшуючи складність проектів, але не вирішувало проблему швидкої зміни вимог.

Гнучкі методи проектування (Agile) (2000-ті роки). З початку 2000-х років великого поширення набула гнучка методологія Agile, яка мала на меті підвищення адаптивності проектів до змінюваних вимог замовника. Agile підходи сприяли більш тісній співпраці між замовником і розробником, а також забезпечували швидше надання часткових результатів, що дозволяло швидше отримувати зворотній зв'язок і коригувати напрямок роботи. Методології Agile, такі як Scrum і Extreme Programming (XP), дозволили ефективно вирішувати проблему змін у вимогах і скорочення термінів розробки, але разом із тим вимагали високої кваліфікації команди та тісної взаємодії з замовником.

Інтеграція DevOps в процес проектування ІС (2010-ті роки). В останні десятиліття в сфері проектування ІС стало помітним широке застосування методології DevOps, що поєднує розробку програмного забезпечення та його експлуатацію. DevOps дозволяє автоматизувати більшість етапів створення і впровадження ІС, включаючи інтеграцію, тестування, доставку та моніторинг. Ця методологія стала основою для створення безперервних циклів доставки та забезпечення надійності систем в умовах динамічних змін. Вона дозволяє значно зменшити час на впровадження змін і виправлення помилок.

Штучний інтелект у проектуванні ІС (2020-ті роки). Останнім етапом еволюції методів проектування ІС є застосування штучного інтелекту (ШІ) для автоматизації частини процесів проектування, тестування та оптимізації ІС.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ): Одна з найбільш помітних тенденцій останніх років — це інтеграція ШІ в процеси проектування ІС. ШІ допомагає створювати інтелектуальні системи, які здатні до прийняття рішень та навчання з даних, що суттєво підвищує ефективність і функціональність систем. ШІ може бути використано для створення адаптивних систем, які здатні «навчатися» на основі даних і покращувати свої функції з часом. Це дозволяє створювати більш інтелектуальні й ефективні ІС, які здатні швидше реагувати на зміни та знижувати необхідність людського втручання у процес.

Виклики та переваги сучасних методів проектування ІС. Сучасні методи проектування мають свої переваги, такі як гнучкість, адаптивність до змін та швидкість доставки результатів. Однак вони також стикаються з певними викликами:- Потреба в висококваліфікованих кадрах, здатних працювати з новітніми методами.- Інтеграція старих і нових систем, що є складним завданням для компаній з існуючою інфраструктурою.- Забезпечення безпеки та конфіденційності, особливо в умовах високих вимог до захисту даних і персональної інформації. Автоматизовані інструменти для проектування, тестування та розгортання стали стандартом. Ці інструменти підтримують всі

етапи — від прототипування до великих проєктів розгортання систем, знижуючи кількість людських помилок і пришвидшуючи час розробки

Перспективи розвитку методів проєктування ІС. Перспективи розвитку включають подальшу інтеграцію таких новітніх технологій, як машинне навчання, Інтернет речей (IoT), блокчейн та інтеграція хмарних технологій. Однак для цього необхідно створювати більш інтуїтивно зрозумілі й автоматизовані методи проєктування, здатні забезпечити ефективність і адаптивність в умовах швидко змінюваних технологій.

Висновок. Ретроспективний аналіз методів проєктування інформаційних систем дозволяє зрозуміти, як зміни в технологіях та вимогах замовників визначали етапи розвитку цих методів. Сучасні методи проєктування забезпечують гнучкість і швидку адаптацію, що є критичним для успішної розробки ІС в умовах технологічної революції.

Л і т е р а т у р а

1. Моделі і методи проєктування інформаційних систем. (n.d.). Retrieved from sumdu.edu.ua.
2. Сучасні інформаційні технології та їх вплив на суспільство. (2024). Retrieved from lpnu.ua
3. Agile Alliance (2020). The Agile Manifesto. <https://www.agilealliance.org/agile101/the-agile-manifesto/>
4. Glover, F., & Kochenberger, G. (2003). Handbook of Metaheuristics. Springer.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Коровченко Р.В. – магістрант, korovchenko_rv@gsuite.duit.edu.ua
Воронко І.О. – к.т.н, старший викладач, voronko_io@gsuite.duit.edu.ua
*Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ*

RESEARCH OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES IN DISTRIBUTED SYSTEMS

Korovchenko R.V. – master's student, korovchenko_rv@gsuite.duit.edu.ua
Voronko I.O. – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
voronko_io@gsuite.duit.edu.ua
*Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv*

Abstract. This work explores the possibilities of using blockchain technology to automate business processes in distributed systems. The paper examines the main principles of blockchain functioning, its advantages and disadvantages in the context of business process automation. Existing solutions and blockchain use cases in various spheres of activity are analyzed. On the basis of the conducted research, conclusions are formulated regarding the prospects for the development of blockchain technology and directions for further research.
Keywords: Blockchains, business process management, distributed systems, Internet of Things (IoT).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що впровадження блокчейн-технології стає важливим кроком у трансформації бізнес-процесів у розподілених системах. Блокчейн як розподілена база даних із високим рівнем захисту та децентралізації надає унікальні можливості для автоматизації бізнес-процесів, таких як управління транзакціями, забезпечення прозорості, скорочення витрат і підвищення ефективності.

Метою роботи є поглиблене розуміння потенціалу блокчейн-технології для оптимізації та автоматизації бізнес-процесів у сучасних розподілених системах, а також визначення першочергових задач.

Блокчейн – це децентралізована база даних, яка зберігає інформацію в блоках, послідовно з'єднаних між собою в ланцюжок (рис.) [1, 2]. Кожен блок містить набір транзакцій, і коли додається новий блок, вся попередня історія оновлюється. Ця технологія забезпечує високий рівень безпеки та прозорості, що робить її цікавою для різних сфер діяльності.

Потенціал використання блокчейну є надзвичайно широким. Завдяки своїй прозорості та незмінності даних, блокчейн сприяє підвищенню довіри між

учасниками бізнес-процесів. Смарт-контракти, що працюють на основі блокчейну, дозволяють автоматизувати виконання контрактних завдань, мінімізуючи участь людини і скорочуючи ризики помилок [2]. В логістиці блокчейн забезпечує можливість безперебійного відстеження руху товарів і матеріалів, знижуючи витрати на адміністрування та сприяючи інтеграції постачальницьких ланцюгів [3]. Захищена структура зберігання даних гарантує їх автентичність та захист від шахрайства або несанкціонованого доступу [3]. Розподілені системи управління, побудовані на блокчейні, дозволяють уникнути централізації процесів, що сприяє більшій стійкості бізнесу до збоїв. Окрім логістики, блокчейн знаходить застосування у фінансах, де він використовується для створення децентралізованих фінансових систем, а також в таких сферах як охорона здоров'я, управління ідентичністю, голосування та Інтернет речей [3]. Незважаючи на значний потенціал, для широкого впровадження блокчейну необхідно вирішити ряд проблем, таких як масштабованість, регулювання і складність розробки. Подальші дослідження спрямовані на розробку нових алгоритмів консенсусу, інтеграцію блокчейну з іншими технологіями, створення стандартів і протоколів, а також розробку регуляторної бази.

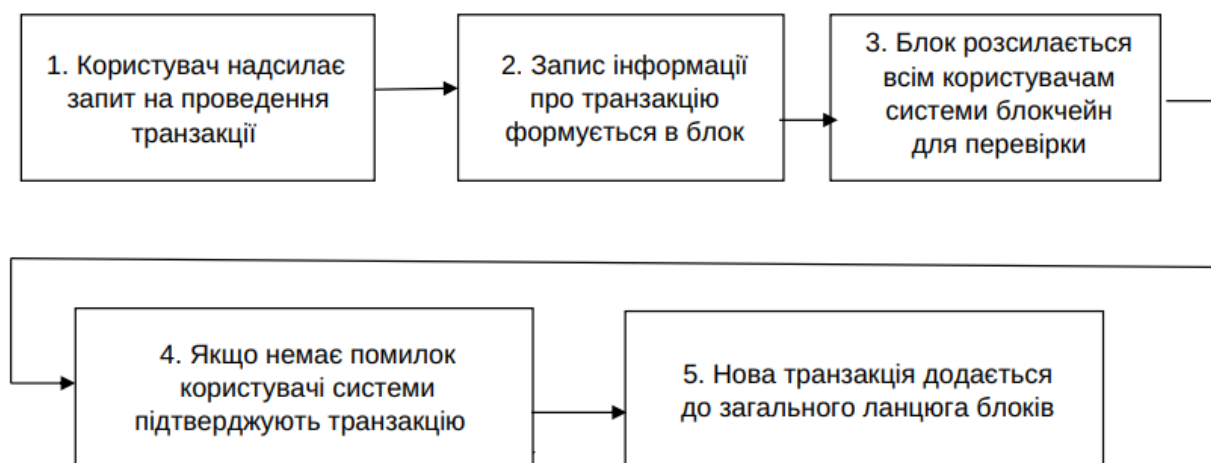


Рисунок – Типова схема роботи технології блокчейн

Переваги блокчейну:

- **Безпека.** Завдяки криптографічним алгоритмам і децентралізації, дані в блокчейні практично неможливо підробити або зламати.
- **Прозорість.** Усі транзакції записуються в відкритий реєстр, який доступний для перевірки всім учасникам мережі.
- **Незмінність даних.** Після того, як дані записані в блокчейн, їх неможливо змінити без згоди більшості учасників мережі.

- Автоматизація. Смарт-контракти дозволяють автоматизувати виконання умов договорів, що знижує ризик помилок і прискорює процеси.
- Децентралізація. Відсутність центрального органа управління робить систему більш стійкою до збоїв і атак.

Використання блокчейну для автоматизації. Однією з ключових переваг блокчейну є можливість автоматизації бізнес-процесів через смарт-контракти. Смарт-контракти дозволяють виконувати угоди між сторонами автоматично, без необхідності втручання посередників. Це зменшує ризики помилок, пришвидшує виконання транзакцій та забезпечує високу точність виконання угод [1-3].

Як зазначено у роботі [4] блокчейн інтегрується в широкий спектр галузей, таких як логістика, фінанси та виробництво. Наприклад, у логістиці блокчейн дозволяє відстежувати походження товарів у реальному часі, знижуючи ризик шахрайства та підвищуючи довіру до ланцюжка постачання.

У дослідженні [5] розглянуто методи оптимізації виконання бізнес-процесів на основі блокчейну. Автори запропонували моделі, що дозволяють знизити витрати на обробку транзакцій і підвищити продуктивність розподілених систем. Застосування таких моделей є важливим для великих підприємств, що працюють у середовищі з великою кількістю транзакцій.

Попри численні переваги, впровадження блокчейн-технологій супроводжується викликами. Серед основних проблем - висока енергомісткість, обмежена масштабованість та необхідність адаптації існуючих бізнес-процесів. Також значна частина організацій стикається з необхідністю інвестувати у навчання співробітників та модернізацію ІТ-інфраструктури.

Блокчейн знаходить широке застосування в різних сферах розподілених систем завдяки своїм унікальним можливостям забезпечення безпеки, децентралізації та прозорості. У сфері Інтернету речей (IoT) блокчейн дозволяє створювати безпечну ідентифікацію пристроїв через унікальні цифрові ідентифікатори, які зберігаються в блокчейні, це знижує ризик підробок і забезпечує відстеження життєвого циклу пристроїв [3, 6]. Крім того, дані від IoT-пристроїв можуть оброблятися децентралізовано, що підвищує ефективність та захищеність.

В обчислювальних мережах блокчейн використовується для координації розподілених обчислень, наприклад, у навчанні моделей машинного навчання. Також він сприяє децентралізованому зберіганню даних, розподілених по вузлах мережі, що забезпечує високу доступність і стійкість до збоїв [6]. У соціальних мережах технологія дає змогу створювати децентралізовані платформи, де користувачі мають більше контролю над своїми даними, зменшуючи ризик цензури.

У сфері ігор блокчейн відкриває можливості для створення віртуальних світів із унікальними цифровими активами, які неможливо підробити, підвищуючи довіру та прозорість. Що стосується управління ідентичністю, блокчейн використовується для розробки цифрові ідентифікатори, які забезпечують високий рівень безпеки та надійності при перевірці особистих даних. Таким чином, блокчейн інтегрується в різні аспекти розподілених систем, сприяючи їх розвитку та підвищенню ефективності.

Висновок. Блокчейн-технологія демонструє значний потенціал у контексті автоматизації бізнес-процесів у розподілених системах. Її використання дозволяє підвищити прозорість, знизити витрати та забезпечити безпечний обмін даними. Основними напрямками її впровадження є смарт-контракти, логістика, фінансові операції та управління даними. Водночас існують виклики, які потребують вирішення, серед яких масштабованість, інтеграція з існуючими системами та регуляторні бар'єри. Подальші дослідження у цій сфері дозволять розкрити нові можливості блокчейну для оптимізації бізнес-процесів та створення інноваційних рішень для розподілених систем.

Л і т е р а т у р а

1. Balan, Oleksandr & Lukianchuk, Kateryna. (2021). Integration of blockchain technology into the process of digital transformation in the maritime transport sector. *Economic journal Odessa polytechnic university*. 4. 94-98.
2. Дмитрієва О.І., Стогул К.М. (2024) Особливості застосування блокчейну з акцентом на транспортну інфраструктуру. Харків: ХНАДУ, 1 (32), 2024. 119-135.
3. Hegadekatti, Kartik (2017). *Automation Processes and Blockchain Systems*. Published in: *Artificial Intelligence - Law, Policy, & Ethics eJournal* , Vol.1, No. 18.
4. Viriyasitavat, Wattana & Xu, Li & Niyato, Dusit & Bi, Z. & Hoonsoopon, Danupol. (2022). Applications of Blockchain in Business Processes: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, pp.99.
5. García-Bañuelos, L., Ponomarev, A., Dumas, M., Weber, I. (2017). Optimized Execution of Business Processes on Blockchain. In: Carmona, J., Engels, G., Kumar, A. (eds) *Business Process Management. BPM 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10445, pp. 130-146.
6. Yatskiv, N., & Yatskiv, S. (2016). Перспективи використання технології блокчейн у мережі інтернет речей. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(8), 381-387.

РИЗИКИ ТА ВРАЗЛИВОСТІ СИСТЕМ SCADA ТА ICS В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Корчовий В.А. – аспірант, *korchovi_v_a@gsuite.duit.edu.ua*
Гончарова Л.Л. – к.т.н, доцент, *goncharova_ll@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

RISKS AND VULNERABILITIES OF SCADA AND ICS SYSTEMS IN POWER SUPPLY SYSTEMS

Korchovi V.A. – graduate student, *korchovi_v_a @gsuite.duit.edu.ua*
Goncharova L.L. – PhD, Associate Professor, *goncharova_ll@gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) and ICS (Industrial Control Systems) are critical components of modern power systems. They provide monitoring, control, and automation of energy processes. However, with the growth of cyber threats and the spread of digitalization, these systems are becoming vulnerable to various risks, including cyber attacks, physical failures, and human errors. The paper examines the main risks and vulnerabilities of SCADA and ICS in power systems, and also proposes approaches to increase their security and resilience.

Keywords: automation, scada systems, power supply, monitoring methods, computer system

Актуальність дослідження зумовлена тим, що стабільність та безпека енергетичної інфраструктури є ключовими для національної безпеки, економіки та добробуту суспільства. Вразливість систем SCADA та ICS може спричинити значні негативні наслідки, включаючи перебої у постачанні електроенергії, втрату конфіденційних даних і навіть руйнівні аварії. Актуальність теми зумовлена швидким впровадженням IoT-технологій та зростанням рівня цифровізації, що значно збільшує площу потенційних атак на енергетичні системи. У світлі сучасних геополітичних викликів дослідження ризиків та вразливостей цих систем набуває особливого значення.

Метою роботи є аналіз ризиків та вразливостей SCADA та ICS у системах електропостачання, визначення основних кіберзагроз і технічних уразливостей, а також розробка рекомендацій для підвищення їхньої кіберстійкості. Дослідження спрямоване на виявлення пріоритетних заходів для захисту критичних енергетичних об'єктів від потенційних атак і забезпечення стабільності електропостачання в умовах зростання кіберзагроз.

Системи SCADA (супервізійного контролю та збору даних) і ICS (промислові системи управління) є критичними компонентами сучасної

енергетичної інфраструктури. Вони забезпечують автоматизацію, моніторинг і контроль технологічних процесів, таких як генерація, передача та розподіл електроенергії. Однак, ці системи також піддаються низці ризиків та вразливостей, які можуть загрожувати їхній роботі та стабільності електропостачання.

Одним із найпоширеніших ризиків є кібератаки. Вони включають такі види, як фішингові атаки, шкідливе програмне забезпечення та розподілені атаки на відмову в обслуговуванні (DDoS). Зловмисники можуть отримати доступ до систем керування, викрасти конфіденційну інформацію або навіть спричинити збої в роботі енергетичних об'єктів. Наприклад, атаки типу ransomware можуть заблокувати доступ до систем, вимагаючи викуп, а шкідливі програми можуть модифікувати або видалити важливі операційні дані.

Фізичні ризики пов'язані з пошкодженням або виходом із ладу обладнання через природні явища (наприклад, бурі, землетруси), недостатнє технічне обслуговування або фізичні атаки на об'єкти критичної інфраструктури. Такі збої можуть спричинити перебої в роботі системи, впливаючи на постачання електроенергії до споживачів.

Помилки, спричинені діями персоналу, залишаються однією з головних причин збоїв у роботі SCADA та ICS. Недостатній рівень підготовки, порушення протоколів безпеки або ненавмисні дії працівників можуть створювати передумови для критичних інцидентів. Наприклад, випадкове неправильне налаштування системи або відкриття доступу до конфіденційної інформації значно підвищує ризик атак [1, 2, 4].

Використання застарілого або неправильно налаштованого програмного забезпечення є ще одним серйозним ризиком. Такі системи часто не відповідають сучасним вимогам безпеки, що робить їх уразливими для атак. Невикористання регулярних оновлень або відсутність виправлень помилок створює «вхідні ворота» для кіберзагроз, дозволяючи зловмисникам отримати доступ до критичних систем.

Вплив описаних ризиків на роботу SCADA та ICS може варіюватися від локальних перебоїв у електропостачанні до масштабних аварій, які загрожують економіці та національній безпеці. Окрім того, порушення у роботі цих систем можуть спричинити недовіру до енергетичних постачальників і створити значні фінансові збитки.

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи SCADA та ICS необхідно впроваджувати багаторівневу систему захисту, орієнтовану на протидію як внутрішнім, так і зовнішнім загрозам [3].

Забезпечення безпеки систем SCADA (супервізійного контролю та збору даних) та ICS (промислових систем управління) вимагає комплексного підходу, спрямованого на захист від кібератак, фізичних збоїв, людських помилок та інших ризиків.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що системи SCADA та ICS є основою енергетичної інфраструктури, але їхня вразливість до ризиків і кібератак ставить під загрозу стабільність енергопостачання. Для забезпечення кіберстійкості необхідно впроваджувати комплексні заходи безпеки, навчати персонал і застосовувати сучасні технологічні рішення.

Л і т е р а т у р а

1. Stasiuk A, Kuznetsov V, Goncharova L, Hubskeyi P. Models of the Computer Intellectualization Optimal Strategy of the Power Supply Fast-Flowing Technological Processes of the Railways Traction Substations / Communications - Scientific Letters of the University of Zilina (Electrical Engineering in Transport), Vol 23, No 2 (2021), P. 30-36. <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.2.C30-C36>
2. Stasiuk O., Kuznetsov V., Zubok V., Goncharova L., Muntian A. Mathematical Models of Effective Topology of Computer Networks for Electric Power Supply Control on Railway Transport / Communications - Scientific Letters of the University of Zilina (Electrical Engineering in Transport), Vol 24, No 2 (2021), P. 27-C32. DOI:10.26552/com.C.2022.2.C27-C32
3. Radvanovsky, Robert, and Allan, Jacob. Critical Infrastructure: Homeland Security and Emergency Preparedness, Third Edition. CRC Press, 2017.
4. Stouffer, Keith, et al. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security: NIST Special Publication 800-82 Revision 2. Gaithersburg, MD: NIST, 2015.

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДАНИХ У БАГАТОРІВНЕВИХ СИСТЕМАХ

Кубрак А.В. – аспірант, *kubrak_av@gsuite.duit.edu.ua*
Голуб Г.М. – к.т.н, доцент, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

METHODS OF ENSURING DATA SECURITY IN MULTI-TIER SYSTEMS

Kubrak A.V. – graduate student, *kubrak_av@gsuite.duit.edu.ua*
Holub H.M. – PhD, Associate Professor, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper examines the main methods of ensuring data security in multi-layered systems, including access control, cryptographic protection, identification and authentication, monitoring and auditing, network protection, and security incident management. It highlights modern challenges associated with cyber threats and their impact on multi-layered information systems. The application of these methods contributes to increasing the level of confidentiality, integrity, and availability of data. The paper emphasizes the need for a comprehensive approach to protection, built on the principles of multi-layered protection and risk minimization. The results of the study can be used to improve cyber security in corporate and government information systems.*

Keywords: *protection methods, monitoring, computer network, computer system, architecture*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що у сучасному світі багаторівневі комп'ютерні системи опрацювання даних є основою інформаційної інфраструктури в багатьох галузях, таких як фінанси, медицина, державне управління та промисловість. В умовах стрімкого зростання обсягів даних, глобалізації інформаційних потоків і розвитку технологій, таких як хмарні обчислення, Інтернет речей та штучний інтелект, забезпечення безпеки даних стає одним із найважливіших викликів. Основними загрозами для безпеки даних у багаторівневих системах є кібератаки, внутрішні загрози, недоліки в архітектурі систем.

Метою роботи є дослідження та аналіз методів забезпечення безпеки даних у багаторівневих системах, розробка рекомендацій щодо їхнього впровадження, а також оцінка ефективності таких підходів для захисту конфіденційної інформації, цілісності даних та безперебійного функціонування інформаційних систем.

Сучасні інформаційні системи складаються з багатьох рівнів, які включають апаратне забезпечення, операційні системи, програмне забезпечення, мережеву інфраструктуру та користувацький інтерфейс. Безпека даних у таких системах є критично важливим аспектом, оскільки кіберзагрози стають дедалі складнішими та багатограннішими [1,2].

Багаторівневі системи складаються з кількох взаємопов'язаних шарів, кожен із яких виконує певну функцію, забезпечуючи ефективну обробку даних, передачу інформації та інтеграцію користувацьких запитів. Основними рівнями таких систем є рівень апаратного забезпечення, який виконує обчислювальні операції, забезпечує фізичне зберігання даних; рівень операційної системи, який забезпечує управління апаратними ресурсами, організацію файлових систем, виконання програм; рівень бази даних на якому відбувається організація, зберігання, запит і обробка структурованих даних. А також рівень застосунків та мережевий рівень, який забезпечить передачі даних між різними рівнями та кінцевими користувачами.

Методами, які можуть бути використані для забезпечення безпеки даних є контроль доступу, криптографічний захист, ідентифікація та автентифікація, моніторинг та аудит, захист мережі, управління інцидентами безпеки [3].

Метод контролю доступу дозволяє визначати, які користувачі чи процеси можуть отримати доступ до певних ресурсів. Використовуються моделі мандатного, дискреційного та рольового доступу, а також принцип мінімальних привілеїв. Контроль доступу є першим бар'єром для несанкціонованих дій у системі. Метод криптографічного захисту використання методів шифрування для захисту даних як у стані зберігання, так і під час передачі. Симетричні та асиметричні алгоритми, а також хешування дозволяють забезпечити конфіденційність, цілісність і автентифікацію даних. Наприклад, використання протоколів SSL/TLS захищає канали зв'язку. Метод ідентифікації та автентифікація забезпечує перевірку особи користувача або системи перед наданням доступу. Серед основних підходів — паролі, одноразові ключі, біометричні дані, а також багатофакторна автентифікація, яка комбінує кілька рівнів перевірки. Метод моніторингу та аудиту постійне відстеження дій у системі, збір та аналіз журналів подій дозволяють своєчасно виявляти аномалії та реагувати на них. Системи IDS/IPS дозволяють автоматично виявляти та блокувати підозрілу активність, а аудит дій користувачів підвищує прозорість та відповідальність. Метод захисту мережі дозволяє використання брандмауерів, VPN, антивірусного програмного забезпечення та сегментації мереж допомагає обмежити доступ до критичних компонентів системи. Такі заходи захищають від атак типу DDoS [4], перехоплення трафіку та впровадження шкідливого програмного забезпечення. Метод управління

інцидентами безпеки передбачає розробку плану реагування на інциденти, автоматизацію сповіщень і відновлення роботи системи. Управління включає як превентивні заходи, так і реагування після інциденту, що дозволяє мінімізувати збитки та час простою системи.

Застосування цих методів у комплексі гарантує багаторівневий захист даних і допомагає протистояти сучасним загрозам у кіберпросторі. Реалізація зазначених заходів має базуватися на специфічних потребах організації, типі даних і ризиках, які можуть виникати в процесі їх обробки або зберігання.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що забезпечення безпеки даних у багаторівневих системах є складним, але важливим завданням, особливо в умовах сучасних кіберзагроз. Використання комплексного підходу до захисту, що охоплює такі методи, як контроль доступу, криптографічний захист, ідентифікація та автентифікація, моніторинг і аудит, захист мережі та управління інцидентами, дозволяє створити стійке середовище для обробки та зберігання даних.

Ефективна реалізація цих методів сприяє досягненню таких цілей, як конфіденційність, цілісність і доступність інформації, а також підвищує довіру користувачів до системи. Важливо, щоб захисні механізми впроваджувалися на кожному рівні системи з урахуванням принципу "захист глибоко" та відповідали реальним потребам організації.

Таким чином, побудова багаторівневого захисту даних є основою стійкої інформаційної системи, здатної протистояти не лише сучасним, але й майбутнім загрозам. Регулярний аудит безпеки, навчання персоналу та адаптація до нових ризиків забезпечать ефективність і надійність функціонування системи в довгостроковій перспективі.

Л і т е р а т у р а

1. Бобровський С.В. Інформаційна безпека в багаторівневих системах". Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2021.
2. ISO/IEC 27001:2013. Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements.
3. Шнайєр Б. Прикладна криптографія: протоколи, алгоритми та вихідні коди на С. Київ: BHV, 2020.
4. Holub, H., Gorobchenko, O., Muraviov, V., Hannoshyna, I., Lushchai, Y., Dovhopoliuk, L. Research of methods of detecting network anomalies, 7th International conference on Intelligent Technologies (ICIT – 2022), Jakarta, 151-158.

РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ЧОТИРЬОХКООРДИНАТНОГО НАСТІЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Кузнєцов Ю.М. – д.т.н., проф., info@zmok.kitv.ua
Кобець І.Р. – магістрант, kobetsivan2003@gmail.com
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

DEVELOPMENT OF THE CONTROL PROGRAM OF A FOUR-COORDINATE DESKTOP MACHINE

Abstract. *On the example of manufacturing a complex part, the procedure for developing a control program for a four-coordinate desktop machine of portal layout is shown.*

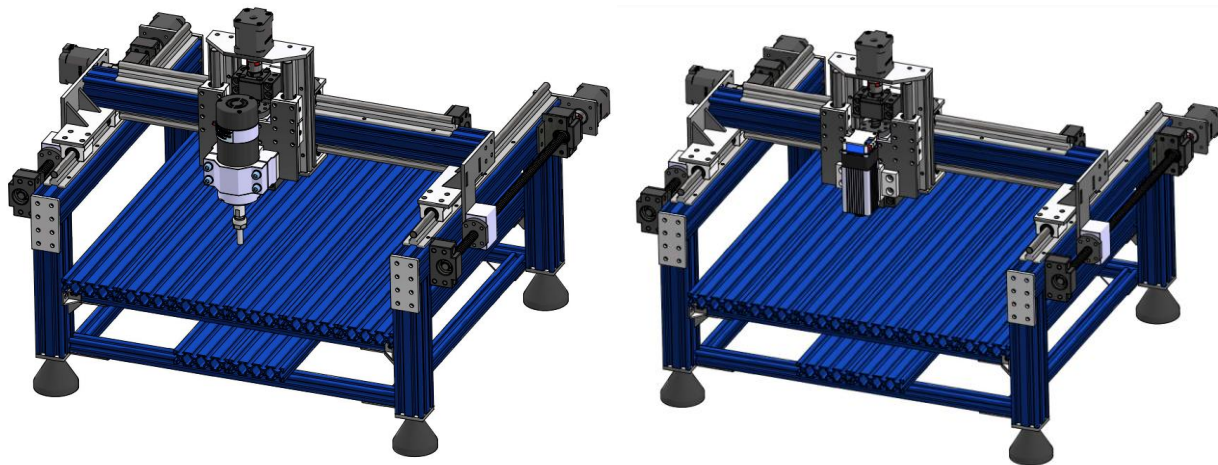
Keywords: *Desktop milling machine, coordinate movement drives, control program, module*

Актуальність. Верстатобудування, як ключова галузь машинобудування, грає важливу роль у розвитку промисловості та національних економік. Розвиток промисловості та її галузева структура визначають стан індустріального та технологічного рівня економіки країни, ефективність її виробництва, стабільність, сталість розвитку та економічну незалежність держави [1]. Сучасний прогрес технологій виробництва невіддільно розвивається, вимагаючи від інженерів і вчених постійного пошуку нових рішень та технологій для підвищення ефективності та автоматизації виробничих процесів. Для цього потрібне створення в навчальному процесі сучасної лабораторної дослідницької бази [2,3]. В умовах обмеженого фінансування вищої освіти доцільного виготовляти малогабаритні настільні верстати з комп'ютерним керуванням, які можуть використовуватися як для навчального процесу, так і на підприємствах для виготовлення деталей невеликих розмірів.

Метою роботи є аналіз відомих малогабаритних верстатів і розробка керуючої програми,

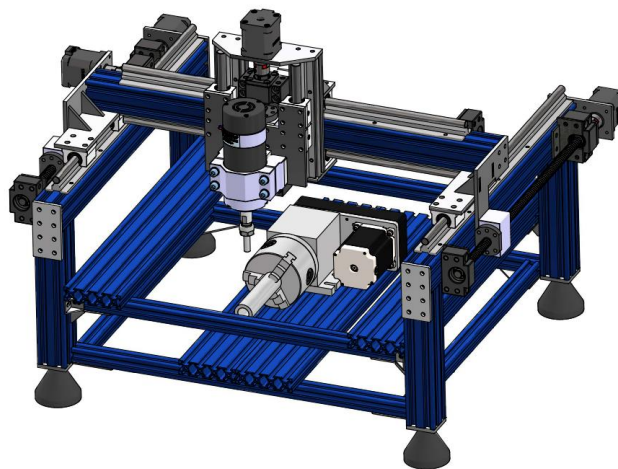
На сучасному ринку інструментів і обладнання для малого та середнього виробництва існує багато виробників, що спеціалізуються на малогабаритних верстатах. Це обладнання відзначається високою мобільністю, компактністю та зручністю в експлуатації.

Після ретельного аналізу значного обсягу даних, патентного дослідження подібних верстатів та детального вивчення їх конструкції [4,6,8], авторами сконструйований в різних варіантах виконання настільний верстат портального компонування (рис.1).



а)

б)



в)

*Рисунок 1 – Варіанти створеного верстат: а) - фрезерний верстат;
б) - лазерний верстат; в) - фрезерний 4-х координатний верстат*

Розробка керуючої програми.

Для створення керуючої програми використано програмне забезпечення від компанії Autodesk, а саме Inventor 2024 та PowerMill 2024. Спочатку за допомогою Inventor 2024 створюється 3д-модель деталі, яку необхідно потім завантажити у PowerMill 2024 для створення керуючої програми. Для прикладу виконана обробка шахової фігури – короля (рис.2).

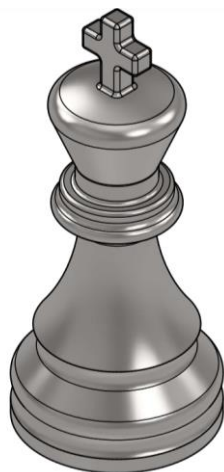


Рисунок 2– Деталь для обробки на розробленому верстаті

Програма PowerMill підтримує різні формати файлів 3D-моделей. Найбільш поширеним є формат STEP. Модель деталі завантажується в програму для подальшого створення керуючої програми.

Обробка на верстаті з 4-ма осями буде відбуватись в декілька етапів. Спочатку виконується чорнова обробка однієї половини деталі (розділення відбувається вздовж четвертої поворотної осі), потім заготовка перевертається на 180° і оброблюється інша половина. Чистова обробка відбувається без розділення деталі. Розглянемо детальніше кроки для створення керуючої програми. Після завантаження файлу моделі в PowerMill необхідно створити заготовку і локальну систему координат, в якій вісь X збігається з поворотною віссю A верстату, а вісь Z – з віссю Z верстата (рис.3).

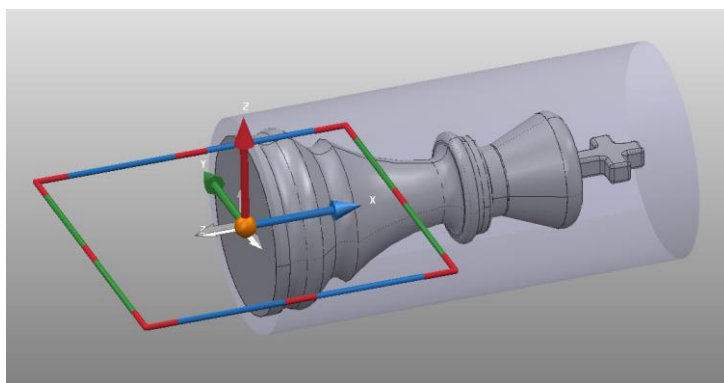


Рисунок 3 – Локальна система координат

Наступним кроком є створення траєкторії обробки. Для чорнової обробки застосована стратегія «вибірка 3D -моделі». За цього способу обробки відбувається фрезерування основного матеріалу і заготовка набуває наближеного вигляду до необхідного (рис.4).

Наступним етапом є налаштування обраної стратегії фрезерування.

Після всіх налаштувань система генерує траєкторію, по якій буде переміщуватись робочий орган в процесі обробки деталі. PowerMill дає можливість виконати симуляцію виконання керуючої програми.

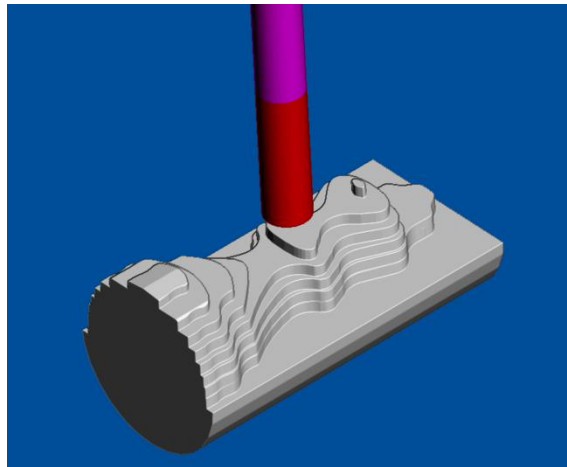


Рисунок 4 – Результат виконання першої частини чорнової обробки

Друга половина деталі оброблюється аналогічним чином. Для цього створюється копія раніше установленної локальної системи координат, і стратегія обробки. Систему координат повертають на 180° навколо осі X (рис.5), всі інші налаштування залишаю без змін.

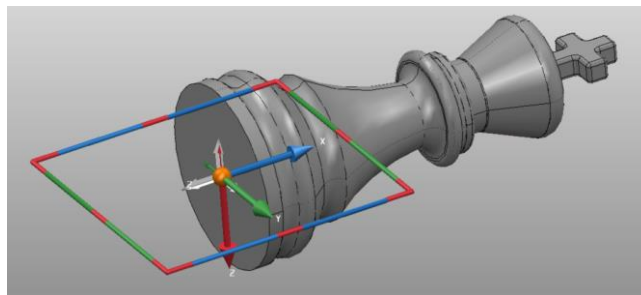


Рисунок 5 – Система координат для чорнового фрезерування другої половини деталі

Створені керуючі програми для чорнової і чистової обробки необхідно зберегти у NC-файл, в якому буде розміщений G-код. Чистова обробка буде виконуватись за стратегією «4 осьова», при якій вісь A постійно обертається, а робочий орган рухається в площині YZ.

Далі всі дії виконуються аналогічно до вищенаведеного прикладу створення керуючої програми для чорнової обробки. В результаті маємо повністю готову керуючу програму для обробки деталі. Результат симуляції програми наведено на рис.6.

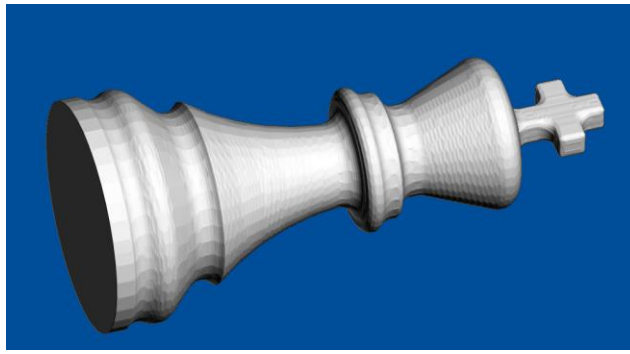


Рисунок 6 – Деталь після чистового фрезерування

Висновки.

Розроблений універсальний настільний 4-х координатний верстат з розширеними функціональними можливостями має значний науково-технічний потенціал і практичну цінність для сучасного машинобудування. Його ефективно використовувати в навчальному процесі і у виробництві при виготовленні складних деталей невеликих розмірів.

Л і т е р а т у р а

1. Кузнєцов Ю.М., Придальний Б.І., Гао Сінмінь_Технологічне оснащення фрезерних верстатів: проектування, теорія, практика: Монографія-Луцьк: Вежа-Друк, 2023. 292 с. ISBN 978-966-940449-7
2. Кузнєцов Ю.Н., Гайдаєнко Ю.В., Кривчук Ю.Т. Моделирование вариантов малогабаритного фрезерного станка портальной компоновки (англ.) //Международная научно-техническая конференция UNITECH'19, г.Габрово (Болгария), 2019, т.2. с.255-258.
3. Кузнєцов Ю.М., Степаненко О.О. Настільні фрезерні верстати, керовані комп'ютером. Технологічні комплекси, Луцьк. 2010. № 1. С. 72-77.

РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТРУБ З ДОДАТКОВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Кузнєцов Ю.М. – д.т.н., проф., info@zmok.kitv.ua
Столярчук Д.П. – магістрант, stlk16dnc@gmail.com
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

DEVELOPMENT OF CONTROL PROGRAM FOR WELDING PIPES WITH ADDITIONAL ELEMENTS

Abstract. *The project involves the analysis of existing welding installations, the study of their effective use and the identification of directions for further improvement. The use of automated equipment and modern CAD systems will contribute to the development of an optimal installation design. As part of the project, technological calculations will be carried out and installation instructions will be developed. The conducted organizational and economic analysis will confirm the effectiveness of the project from the point of view of economic indicators and increase the productivity of the Ukrainian sector of the production of special equipment.*

Keywords: *welding, automated installation, lathe, pipe, modernization, supply of material*

Актуальність. Актуальність дослідження зумовлена потребою українських підприємств, що займаються виготовленням спецтехніки, у якісному та універсальному обладнанні за доступну ціну для власного виробництва в основному гідроциліндрів взамін дороговартісним імпортом.

На даний момент є успіхи у виготовленні бруків, штоків та інших елементів гідроциліндрів, проте залишається проблема якісної зварки, оскільки для цього потрібно установку, яка дозволить отримати не тільки красивий шов, а й забезпечуватиме рівномірний та повний провар і, відповідно, повну герметичність гідроциліндра. Створення якісного продукту дозволить не тільки успішно встановлювати його та експлуатувати на власній техніці, а й дозволить вийти вітчизняному продукту на іноземний ринок.

Метою роботи є дослідження та огляд існуючих ротаційних зварювальних установок, вивчення умов їх ефективного використання і виявлення напрямків подальших досліджень для покращення методів планування й організації робіт. Основною метою є створення власної універсальної установки, яка дозволить виробляти функціональні та якісні гідроциліндри за доступну ціну для українських підприємств, що займаються виготовленням спецтехніки. Це дозволить відмовитись від покупки готових дороговартісних імпортованих гідроциліндрів. Така установка має перспективу широкого впровадження в українській машинобудівній промисловості, що сприятиме розвитку та конкурентоспроможності національного сектора виробництва спецтехніки.

Для досягнення бажаного результату, необхідно розглянути напрямки та тенденції створення автоматизованого зварювального обладнання а також здійснити патентно-інформаційні дослідження для того, щоб розуміти які методи та способи вже існують, проаналізувати їх недоліки та переваги й, опираючись на це, обрати свій вектор руху в проектуванні даної установки.

Після цього в комплексі потрібно здійснити певні розрахунки та сконструювати дане обладнання з використанням сучасних CAD-систем. Також для досягнення поставленої мети потрібно провести аналіз технологічних нюансів, для створення інструкцій роботи з установкою. Також, для обґрунтування важливості всієї цієї роботи, необхідно провести організаційно-економічний аналіз, що покаже який може бути ефект на економічні показники та показники приросту продуктивності виробництва.

Розробка керуючої програми

Оскільки в вільному доступі спеціальних програм для розробок керуючих програм немає, запропонований власний спосіб, який дозволить отримати керуючу програму для різних видів зварних швів. Він базується на використанні будь-якої CAD-системи та будь-якого слайсера для 3D-друку.

Суть методу полягає в тому, що спочатку в CAD-програмі моделюють твердотільну модель, в яку поміститься одна лінія шириною рівною ширині сопла, для прикладу 0,4 мм, геометрію цього шва можна зробити будь-якою і, що найприємніше, її можна параметризувати, що дозволить потім змінювати певні розміри для того, щоб зробити іншу програму для роботи з іншою заготовкою.

Після запуску генерації коду отримаємо програму для 3D-друку, нам потрібна середина цієї програми, в якій міститься G-код траєкторії руху.

Так звані початковий та завершальний G-коди можна написати вручну, це всього кілька рядків, які залежатимуть від того які дії запланує програміст, який створюватиме програму.

Висновки.

Був проведений аналіз технологічних нюансів для створення інструкцій роботи з установкою. Організаційно-економічний аналіз дав змогу обґрунтувати важливість роботи, виявити потенційний ефект на економічні показники та показники приросту продуктивності виробництва.

Загалом, робота спрямована на створення універсальної установки для виготовлення гідроциліндрів, що має потенціал для впровадження в українській машинобудівній промисловості. Дані дослідження вказують на необхідність подальшого вдосконалення методів планування й організації робіт у цій галузі для досягнення максимального ефективного використання ротаційних зварювальних установок.

Л і т е р а т у р а

1. Carpano Hydraulic Cylinders Welding – <https://www.carpano.it/2017/07/17/hydraulic-cylinders-welding/>
2. Haoyu Welding - Pipe and Nipples Automatic Welding Machine - <https://www.haoyuwelding.com/automatic-welding-machine/automatic-pipe-welding-machine/pipe-and-nipples-automatic-welding-machine.html>
3. Kuznetsov Yu. M. Morphological synthesis of the universal rotary welding device. Journal of the Technical University of Gabrovo 66 (2023) 1-4
4. Modulnoe oborudovanie dlya gibkikh proizvodstvennykh sistem mekhanicheskoy obrabotki: Spravochnik; Pod red. R.E Safragana.-K.: Tekhnika, 1989.175 s.
5. Pipe and Nipples Automatic Welding Machine - Welkon Welding - <https://www.welkonwelding.com.tr/circular-welding-machine-circular->
6. Timchenko V. A., Sukhomlyn A.A. Robotizatsiya svarochnogo proizvodstva. K.: Tekhnika, 1988.175 s.
7. Yak pravylno varyty truby elektrozvarkoyu - <https://zvarka.info/yak-pravylno-varyty-truby-elektrozvarkoyu/>

РОЛЬ CRM-СИСТЕМ У ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ

Лісовенко І.С. – магістрант, *lisovenko_is@gsuite.duit.edu.ua*

Голуб Г.М. – к.т.н., доц., *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

THE ROLE OF CRM SYSTEMS IN IMPROVING CUSTOMER SERVICE QUALITY

Lisovenko I.S. – master's student, *lisovenko_is@gsuite.duit.edu.ua*

Holub H.M. – Candidate of technical sciences, Assistant professor,

golub_gm@gsuite.duit.edu.ua

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *This research focuses on the role of CRM systems in improving customer service quality and optimizing business processes. Key aspects are explored, including centralized data storage, automation of routine tasks, personalized customer service, and ensuring seamless communication with clients. The research examines the impact of integrating satisfaction metrics, system adaptability, customer personal ratings, maintenance performance, and company reputation on the overall effectiveness of CRM platforms. Special attention is given to analyzing the dynamics of customer interactions, identifying trends, and implementing corrective measures that contribute to increased customer satisfaction, enhanced loyalty, and improved competitiveness for businesses.*

Keywords: *CRM systems, customer service, business optimization, task automation, customer satisfaction, personalized service, customer loyalty.*

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності обслуговування клієнтів та оптимізації внутрішніх бізнес-процесів. Сучасні компанії стикаються з високими очікуваннями клієнтів щодо швидкості й точності обробки їхніх запитів. Автоматизація через CRM-системи дозволяє вирішити ці завдання, надаючи інструменти для прискорення роботи з клієнтами та зниження впливу людського фактору на помилки та затримки.

Метою роботи є розробка ефективних підходів до автоматизації в CRM-системах, що сприятиме підвищенню якості обслуговування клієнтів та оптимізації внутрішніх процесів. Це дослідження спрямоване на створення науково обґрунтованої бази, яка забезпечить ефективність та якість подальшої розробки й впровадження CRM-систем, орієнтованих на автоматизацію рутинних операцій, зниження ризику помилок та покращення персоналізації обслуговування.

CRM-системи значно покращують якість обслуговування клієнтів, надаючи компаніям інструменти для ефективної організації та контролю процесів взаємодії з клієнтами. Завдяки централізованому зберіганню всієї інформації про клієнтів, ці системи дозволяють швидко й легко отримувати доступ до історії взаємодій, замовлень і запитів, що забезпечує персоналізований підхід і оперативну реакцію на потреби клієнтів. Технології для управління клієнтською базою надають можливості для аналізу поведінки клієнтів, виявлення тенденцій та визначення слабких місць у процесах обслуговування, що дозволяє впроваджувати коригуючі заходи на основі фактичних даних.



Рисунок 1– Ключові елементи для інтеграції в автоматизовану систему

Схема (рисунок 1) демонструє основні елементи, що мають бути враховані для забезпечення належного функціонування автоматизованої системи. Ці компоненти охоплюють ключові фактори, що впливають на якість обслуговування клієнтів і оптимізацію ресурсів.

Показник задоволеності – включає такі параметри, як рівень лояльності (NPS), рівень задоволеності обслуговуванням (CSAT), оцінка зусиль клієнтів (CES), час обробки звернень і точність виконання. Ці показники слід інтегрувати в систему для забезпечення високого рівня задоволеності та лояльності клієнтів.

Індекс податливості – охоплює динаміку задоволеності клієнтів, прийняття рекомендацій і зміну обсягу витрат. Цей компонент дозволяє враховувати гнучкість і адаптивність системи, необхідну для реагування на змінні потреби клієнтів.

Особистий рейтинг – включає такі показники, як час використання кол-центру, навантаження на приймальню, загальна цінність клієнта для бізнесу, ввічливість і рівень повернень. Інтеграція цих факторів допоможе оптимізувати ресурси, зменшити навантаження на систему і покращити досвід користувачів.

Оцінка результативності виконання звернення — включає еталонний час виконання завдань, процент заміни компонентів і коефіцієнт складності. Цей компонент дозволяє оцінити ефективність технічного обслуговування, що є важливим для оптимізації процесів і підвищення надійності.

Вплив на репутацію – враховує зону охоплення, наявність попередніх відгуків, процент успішних ремонтів, кількість звернень і локалізацію клієнтів. Ці фактори впливають на репутацію компанії і дозволяють системі краще орієнтуватися на підтримку клієнтів у різних регіонах.

Висновок. Результати дослідження показують, що впровадження автоматизованих підходів у CRM-системах є важливим інструментом для підвищення якості обслуговування клієнтів та оптимізації внутрішніх процесів компаній. Схематичний аналіз відображає структуру ключових елементів для інтеграції в автоматизовану CRM-систему, підкреслюючи необхідність уніфікованого підходу до управління взаємодією з клієнтами. Запропоновані методи надають науково обґрунтовану базу для розробки та впровадження високоефективних CRM-систем, які підвищують задоволеність клієнтів, лояльність та конкурентоспроможність компанії.

Л і т е р а т у р а

1. Payne A. Handbook of CRM: Achieving Excellence in Customer Management. Велика Британія, Elsevier Linacre House. 2005. 438 p.
2. N'Goala G., Prim-Allaz I., Pez-Perard V. Augmented Customer Strategy: CRM in the Digital Age. Великобританія, Wiley. 2019. 295 p.
3. Багнюк Н. В., Кузьмич О. І., Мельник В. М., Тимошук П. В. Концепція формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами та інтеграція CRM-системи. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2019. № 37. С. 19-24.
4. Зарійчук О. Г. Дослідження впливу автоматизації обліку на рівень задоволеності клієнтів в інтернет-магазинах. Grail of Science. 2023. № 31. С. 228-238.

ФОРМУЛЮВАННЯ БАЗОВИХ СУТНОСТЕЙ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

Миронов О.Г. – аспірант, myronov.aleksey@gmail.com
Герцій О.А. – к.т.н., доцент, gertsy_ua@gsuite.uit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

THE FORMULATION OF BASE ENTITIES OF THE EXPERT SYSTEMS

Myronov O.G. – Postgraduate student, myronov.aleksey@gmail.com
Gertsy O.A. – Ph.D., Associate Professor, gertsy_ua@gsuite.uit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The work proposes a universal formulation of the base entities of the expert systems. This can simplify and standardize knowledge management in the ES, increase their compatibility and solve the problem of the inaccessibility of knowledge for a wide range of users. At the moment, the disadvantage of the ES is that their resource is difficult to make for a wide range of knowledge users. Existing ES, as well as AI systems, can work in the “black box” mode, hiding the logic of the knowledge base core (output subsystems and subsystems of explanations), that is, the internal logic of the operation of these systems can only be known developers and customers of these systems. The high level of specialization of the ES, the presence of a specific and hidden for users logic of the systems work creates the difficulties of the exchange of knowledge between the systems, experts and users of these systems.*

Keywords: *universal knowledge structure, entities of knowledge, knowledge control*

Актуальність теми. Великі інвестиції в реалізацію інтелектуальних систем (ІС) призвели до появи розвинених систем штучного інтелекту (ШІ) на глобальному ринку. Однак у більшості цих систем присутні наступні недоліки для користувачів.

- Логіка виведення закрита від користувача знань.
- Знання та логіка виведення в більшості випадків залишаються власністю не експертів, а власників інтелектуальної системи.
- Об'єкт або суб'єкт, відповідальний за рішення, прийняте системою, найчастіше не визначається або не відображається користувачам системою.

Експертні системи (ЕС), які побудовані на відкритому принципі, можуть допомогти вирішити ці проблеми, але на даний момент їх недоліком є те, що їх ресурс недостатньо доступний для широкого колу користувачів знань.

Метою роботи є вирішення проблеми доступності знань різноманітних ЕС для всіх категорій користувачів шляхом універсалізації процесів

формулювання, введення, вилучення та відображення знань. Для цього необхідно сформулювати базовий набір типів сутностей бази знань, базовий набір операцій із сутностями у базі знань та базовий набір операцій логічного виведення. Під терміном базовий мається на увазі мінімальний перелік типів сутностей, операцій, необхідний та достатній для виконання задачі управління знаннями.

Існуючі ЕС, як і системи ІІІ, частіше доступні користувачу як закриті системи, які приховують логіку роботи ядра бази знань (підсистеми виведення та підсистеми пояснень виведення). Тобто внутрішня логіка роботи може бути повністю відомою лише розробникам та власникам цієї системи. Високий рівень спеціалізації ЕС, наявність специфічної закритої від користувачів логіки роботи призводить до труднощів обміну знаннями між системами, експертами та користувачами цих систем. Крім того, ЕС може бути присутня висока вартість знань через необхідність залучення в життєвому циклі таких дорогих фахівців, як розробники системи та інженери знань.

Також відомо, що однією з ключових проблем взаємодії між програмними та апаратними системами як між собою так і з користувачами є різниця в термінах, логіці формування моделей та виведення рішень для різних груп користувачів експертних систем [1].

Шлях вирішення проблеми в дослідженні формулюється як створення єдиного підходу, що реалізується в підсистемах ЕС та засновано на наступних принципах:

- Єдиний базовий набір сутностей бази знань.
- Єдина базова нижньорівнева термінологія.
- Єдиний універсалізований підхід до логіки побудування структури та процесів системи.
- Єдиний підхід до логіки виведення та пояснення виведення.

Для універсальності базовий елемент повинен відповідати філософському поняттю, тобто мати високий рівень абстракції.

В дослідженні показано, що набір базових типів сутностей може бути наступним:

- об'єкт (відповідає Матерії)
- дія (відповідає Руху)
- зв'язок (відповідає Енергії)
- атрибут (ознака, характеристика будь-якої сутності)
- значення атрибуту (відповідає результату виміру або відношення конкретного атрибута до еталонного атрибута)
- вузол (відповідає абстрактному поняттю)

Всі вказані типи сутностей, окрім вузла, будуть конкретизованими, а вузол – узагальненим типом сутності.

Крім того, оскільки вузол є узагальнена і абстрактна Сутність, то він може бути типізованим відповідно до типів конкретизованих сутностей:

- вузол-об'єкт (узагальнений об'єкт)
- вузол-дія (узагальнена дія)
- вузол-зв'язок (узагальнений зв'язок)
- вузол-атрибут (узагальнений атрибут)

Вказані сутності є похідними від вузла.

Сутність зв'язок дозволяє з'єднувати будь-які сутності в ланцюжок сутностей.

Сутність ланцюжок є комплексною сутністю та є фундаментом знань в базі знань. При створюванні ланцюжка сутностей достатньо реалізувати тільки два базових типа зв'язку: ієрархія та послідовність. Ланцюжки з типом зв'язку ієрархія можуть використовуватися для опису класифікаторів (шляхом створення зв'язку для вузлів), структури системи и т.п. Ланцюжки з типом зв'язку послідовність можуть забезпечити абстрактний опис та конкретну реалізацію достатньо складних процесів та структур.

Сутність зв'язок має наступні особливості.

- Зв'язок має властивості вектора: тобто є начало, кінець та направлення.
- Направлення зв'язку може визначати направлення дії.
- Роль зв'язку може виконувати матеріальна сутність – об'єкт, якій є провідником енергії и через якій взаємодіють зв'язані сутності.
- Зв'язок може проявлятися через дії об'єкта-зв'язку.
- В загальному випадку зв'язок має направлення від об'єкта з більш високим рівнем енергії к об'єкту з меншим рівнем енергії.
- зв'язки в широкому сенсі можуть бути створені між об'єктами, діями, зв'язками.

Основні особливості сутності дія складаються з наступного.

- Дія, як правило, цілеспрямована.
- Дія має початок та кінець.
- Дія виконується об'єктом або ланцюжком об'єктів.
- Для виконання дії та досягнення цілі в загальному випадку повинні бути сформовані зв'язки з вхідними сутностями, які забезпечують виконання дії, а також зв'язки з вихідними сутностями, вплив на які забезпечує досягнення цілі дії.

Для повного опису вказаних властивостей сутності дія достатньо використовувати її сумісно з сутністю зв'язок [2].

Сутність вузол може використовуватися для опису типових станів, переходів між ними шляхом виконання типових дій з використанням типових зв'язків. Вузол та його похідні дозволяють забезпечити формування типових ланцюжків (абстрактних знань) та конкретних (факти і процеси, що реалізуються). В конкретних ланцюжках конкретні об'єкти виконують конкретні дії і придбають конкретні зв'язки, атрибути, значення атрибутів. Наповнення знаннями зводиться к формуванню ланцюжків в базі знань, а виконання дій об'єктами через зв'язки – реалізацію процесів на основі знань. Знання будуть являти собою ланцюжки взаємозв'язаних ланцюжків в базі знань.

Побудова класифікатора або опис ієрархічної структури системи можливо шляхом утворення сутностей вузол-зв'язок (с типом ієрархія) між типізованими сутностями вузлів (вузол-об'єкт, вузол-дія, вузол-атрибут і вузол-зв'язок). Нарощування знань про сутність шляхом одночасного визначення її в різноманітні класифікатори може виконуватися через організацію крос-посилань (зв'язків) між вузлами класифікаторів та організації ланцюжків (типу послідовність) переходу між ними.

Опис типового процесу можливо створити шляхом формування ланцюжка с вузлами-зв'язками типу послідовність. Будь-який ланцюжок послідовність після створення має тяготіння до виконання, тобто до виконання об'єктами дій для досягнення кінцевих сутностей ланцюжка, які в більшості випадків є станами (вузол або його похідні).

Присвоєння значення атрибута конкретизованій сутності можливо шляхом створення зв'язку цієї сутності з атрибутом, а від останньої – до сутності значення атрибуту. Відповідно, для присвоєння значення атрибуту узагальненої сутності створюються два вузла-зв'язку: перша між потрібним типізованим вузлом и вузлом-атрибутом і друга між вузлом-атрибутом та значенням атрибуту.

Для виконання операцій над сутностями в базі знань достатньо трьох типів:

- створення сутності,
- видалення сутності,
- порівняння сутностей по сутності.

Примітка. Зміну сутності можна розглядати як послідовні операції видалення старої та створення нової сутності при збереженні значення її ідентифікатора.

Слід відмітити, що порівняння сутностей потребує, щоб вони були однієї розмірності. Тому порівняння сутностей формулюється як операція порівняння сутностей по сутності [3]. Якщо сутності мають різну розмірність (наприклад, не належать до одного вузла класифікатора), то можливість їх порівняння

з'являється, якщо в базі знань для кожної із сутностей, що порівнюється, є ланцюжки типу послідовність, в яких початковим типом сутності є поточний стан (типізований вузол) кожній із сутностей, а кінцевим – сутність, по якій вони порівнюються.

Наявність базової операції порівняння сутностей забезпечує можливість використання судження «якщо-то» в якості базової операції підсистеми виведення і підсистеми пояснення виводу при формуванні ланцюжків зі зв'язками типу послідовність. Позитивний результат порівняння сутностей є подією, а факт генерації стану говорить про те, що сутність прийняла або загубила стан. Стан в загальному випадку відповідає вузлу або його похідної.

В рамках вказаної концепції базових сутностей реалізацію судження «якщо-то» можна сформулювати наступним чином.

- Якщо результат порівняння сутностей позитивний, то створити сутність.
- Якщо результат порівняння сутностей позитивний, то видалити сутність.

Таким чином, елементарний цикл управління у базі знань буде формуватися та виконуватися в послідовності:

- дія порівняння,
- при позитивному результаті порівняння – формулювання стану,
- при позитивному результаті порівняння – виконання дії створення або видалення сутності.

Висновок. В результаті проведених досліджень очікується, що будуть отримані можливості для впровадження ЕС, які забезпечують доступність знань для широкого спектру користувачів та експертів та мають наступні характерні особливості.

- Висока ступінь відкритості та прозорості логіки ЕС.
- Можливість розробки та впровадження ЕС на основі широко розповсюджених мов програмування високого рівня.
- Простота впровадження процесів формулювання, введення, вилучення та обміну знаннями за допомогою їх стандартизації.
- Низька загальна вартість використання знань для користувача, в тому числі, завдяки мінімізації ролі програмістів та інженерів знань у життєвому циклі ЕС.

Л і т е р а т у р а

1. Митрофанова А.С., Решетняк Н.Б. Особливості системи управління корпоративними правами держави в Україні. Бізнес Інформ. 2019. №3. С. 63-68. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-3-63-68>
2. Семенова В.Г. Система показників оцінювання ефективності управління інтелектуальною власністю підприємств. Проблеми економіки. 2015. № 2. С. 179-185. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2015_2_27. (дата звернення 18.11.2024)

3. Холод С.Б., Войт С.М. Критерії ефективності управління у складних саморегулюючих соціально-економічних системах мезорівня. Вісник економічної науки України. 2015, № 2. С. 120-128. - Режим доступу: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/108150/24-Kholod.pdf?sequence=1>. (дата звернення 18.11.2024)

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ ЗАКУПІВЛІ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Нестеренко О.Б. – аспірант, nesterenko_ob@gsuite.duit.edu.ua
Кульбовський І.І. – к.т.н., доцент, kulbovskyi_ii@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

CONCEPT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM IN PROJECT MANAGEMENT FOR THE PROCUREMENT OF ELEMENTS OF A ROBOTIC PRODUCTION ENVIRONMENT

Nesterenko O.B. – Postgraduate student, nesterenko_ob@gsuite.duit.edu.ua
Kulbovskyi I.I. – Candidate of Technical Sciences, associate Professor,
kulbovskyi_ii@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. The rapid technological advancements driving global industrial automation underscore the critical need for innovative approaches in production processes. While countries like South Korea, and Germany lead in robot density, Ukraine significantly lags, with minimal implementation of automated systems. This disparity hinders competitiveness and productivity. The development of an intelligent Decision Support System (DSS) tailored for managing procurement projects in small and medium-sized businesses (SMBs) offers a strategic solution. Such a DSS can optimize processes before automation, evaluate technological solutions, and support comprehensive market analysis. By addressing the challenges of low automation and inadequate strategic planning, this system could empower Ukrainian enterprises to align with global trends and maximize investment efficiency.

Keywords: Project Management, Decision Support Systems (DSS), Industrial Automation, Artificial Intelligence, Process Optimization, Procurement Strategies

Актуальність теми зумовлена стрімкими технологічними змінами, які охоплюють усі сфери виробництва та диктують нові підходи до організації процесів. У світі зростає рівень автоматизації, що стає ключовим фактором підвищення продуктивності, зниження витрат та забезпечення

конкурентоспроможності підприємств. Промислові роботи, станки з ЧПК (числовим програмним керуванням) та інші елементи роботизованих середовищ дедалі більше інтегруються у виробничі процеси провідних країн, зокрема у Південній Кореї, Японії, Німеччині та США. Згідно з даними звіту World Robotics 2024, глобальний середній показник щільності роботів досяг рекордного рівня у 162 одиниці на 10,000 працівників у 2023 році, що більше ніж удвічі перевищує показник семирічної давнини (74 одиниці). Це свідчить про швидке зростання темпів роботизації в глобальному масштабі. Південна Корея має найвищу щільність роботів у світі. З 932 одиницями на 10 000 працівників країна перевищила середній світовий показник у сім разів. Водночас в Україні рівень роботизації залишався принаймні до війни надзвичайно низьким: було встановлено не більше однієї автоматизованої системи на 10,000 працівників [1]. Зазначений дисбаланс не лише стримує продуктивність української промисловості, а й створює ризики втрати конкурентоспроможності на світовому ринку.

Україна суттєво відстає за рівнем роботизації не лише через економічні фактори, але й за браком стратегічних інноваційних підходів до впровадження новітніх технологій. Багато керівників підприємств не усвідомлюють, які процеси можна автоматизувати, які є невиправданими для виконання, і які потребують участі людини.

Створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для управління проєктами закупівлі високотехнологічного обладнання може стати вирішенням цих проблем. Така система дозволить підприємствам комплексно оцінювати потреби, аналізувати сучасні технологічні пропозиції та забезпечувати максимальну ефективність інвестицій у роботизоване середовище.

Метою дослідження є обґрунтувати важливості створення та затвердження базових елементів інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для ефективного управління закупівлями роботизованих технологій у практичній діяльності підприємств малого та середнього бізнесу (МСБ).

Визначимо базові елементи системи СППР:

Оптимізація процесів перед їх автоматизацією. Найкращою світовою практикою є стандартизація стабільних та зрозумілих процесів перед їх автоматизацією. Наприклад компанія Toyota уникає автоматизації хаотичних або недосконалих процесів. Замість цього компанія спочатку вдосконалює процеси, використовуючи методи бережливого виробництва, такі як Генчі Генбуцу (піти й подивитися): перевірка процесів безпосередньо на виробництві для виявлення проблем; Використання кайдзен: постійне вдосконалення на

основі збору даних і аналізу та Стандартизація - створення єдиних стандартів роботи, які дозволяють уникнути відхилень у якості.

Toyota впроваджує автоматизацію лише тоді, коли процеси стабільні, стандартизовані та оптимізовані. Це зменшує ризик перенесення дефектів у масштабовану автоматизовану систему. Автоматизація "хаосу" призводить до більшого хаосу, тому лише після вирішення основних проблем процесів можна розглядати інвестиції в роботизовані системи чи ЧПК-обладнання. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (СППР) може стати ключовим інструментом для аналізу, оптимізації та автоматизації виробничих процесів. Система може створювати цифрові моделі існуючих процесів і тестувати сценарії вдосконалення. Це дозволяє імітувати наслідки впровадження змін до автоматизації, зокрема за допомогою роботів чи ЧПК-станків. Наприклад, моделювання дозволить визначити, чи виправдає автоматизація певного процесу витрати на впровадження роботизованої системи. СППР може використовувати алгоритми машинного навчання для аналізу великих обсягів даних і пропонувати конкретні заходи з оптимізації. Рекомендації можуть включати усунення "вузьких місць" у виробництві, скорочення непродуктивного часу або визначення найбільш вигідних напрямків для автоматизації [2].

Оцінка сучасних технологій. СППР повинна враховувати сучасні технологічні можливості, зокрема обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), промислові роботи, складні аналітичні системи тощо. Це дозволить підприємствам обирати обладнання, яке найкраще відповідає їхнім потребам. Важливо зауважити, що представники МСБ в Україні досить часто не здатні сформулювати якісне технічне завдання через брак знань про наявні технології в світі. Саме тому класичні системи на основі штучного інтелекту такі як SAP Ariba, Silex, Synertrade не можуть ефективно працювати, оскільки вони вимагають чіткого розуміння потреб користувача.

Для вирішення цієї проблеми СППР може використовувати інтегровані чат-боти з елементами штучного інтелекту. Такі чат-боти здатні збирати інформацію про постачальників, надавати рекомендації та підтримувати комунікацію. Чат-боти є інтелектуальними віртуальними агентами, які аналізують потреби користувачів і постачальників, надають релевантну інформацію та виконують функції автоматизованого переговорника. Вони можуть контактувати з обраними постачальниками, представляти компанію, збирати базову інформацію, оцінювати потенціал співпраці та підтримувати позитивні відносини. Чат-боти також можуть взяти на себе етап запиту інформації - Request for Information (RFI), що дозволяє охопити більше

постачальників, забезпечити відповідність вимогам і підтримувати відносини навіть із тими, хто не був обраний для співпраці [3].

Аналіз ринку та оцінка постачальників. Розробка системи підтримки прийняття рішень (СППР) для оцінки постачальників є критично важливою для оптимізації закупівельних процесів підприємств, особливо в умовах, коли вибір постачальників є складним і багатокритеріальним завданням. Сучасні СППР повинні забезпечувати всебічну оцінку пропозицій за такими параметрами, як вартість, технічні характеристики, терміни поставки, сервісне обслуговування та наявність спеціалізованих компонентів.

В українських реаліях підприємства стикаються з низьким рівнем локалізації виробництва верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) та інших елементів роботизованих виробничих систем. Провідні світові виробники, такі як HAAS, Toshiba, Samsung, DOOSAN, EMCO, OKUMA, не мають виробничих потужностей в Україні, що змушує компанії працювати з представниками або дистриб'юторами. Часто ці представники надають недостатньо інформації, обмежуючись стандартними рішеннями, які не завжди відповідають потребам клієнтів. Відповідно, СППР повинна мати двоєдиний підхід до надання рекомендацій на закупівлю враховуючи як пряме завдання орієнтоване на визначення потреб замовника, зокрема завдяки інтерактивним інструментам збору даних, так і зворотнє завдання, коли СППР замість постачальника допомагає покупцю сформулювати оптимальну комплектацію та сформулювати детальний запит на закупівлю – Request for Quotation (RFQ).

Висновки. Створення СППР є критично важливим кроком для українських підприємств, які прагнуть інтегруватися в глобальну економіку. Вона допоможе малому та середньому бізнесу оптимізувати виробничі процеси, підвищити ефективність інвестицій та адаптуватися до викликів технологічної революції. У результаті це сприятиме відновленню та розвитку промислового сектору України в умовах сучасних глобальних тенденцій. Присутні на ринку програмні продукти не в повній мірі відповідають реальним потребам МСБ України. Мають бути розроблені моделі, методи та технічні рішення, що ґрунтуються на нечітких змінних, управлінні проектом, дереві цілей та дереві рішень, для забезпечення створення СППР як придатного до експлуатації програмно-технічного комп'ютерного застосунку.

Л і т е р а т у р а

1. Міжнародна федерація робототехніки. Світова робототехніка 2024: Звіт про глобальний ринок. Доступно за посиланням: https://ifr.org/downloads/press2018/2024-SEP-24_IFR_press_release_World_Robotics_2024_-_global_market.pdf. Дата доступу: листопад 2024 р.

2. Лайкер, Джеффри К. Шлях Toyota: 14 принципів управління від найкращого виробника у світі. 2-е видання. Нью-Йорк: McGraw-Hill Education, 2020. 448 с.

3. Аллал-Шереф, Оіхаб. Інтелектуальні закупівлі: Як штучний інтелект може змінити функцію закупівель. Журнал бізнес-досліджень, том 124, січень 2021, С. 69-76. Кафедра інформаційних систем, управління ланцюгами постачання та прийняття рішень, бізнес-школа NEOMA, Реймс, Франція.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Островерхов В.В. – аспірант, *ostroverkhov_vv@gsuite.duit.edu.ua*

Голуб Г.М. – к.т.н, доцент, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-BASED TECHNOLOGIES IN TRANSPORT MEASUREMENT

Ostroverkhov V.V. – graduate student, *ostroverkhov_vv@gsuite.duit.edu.ua*

Holub H.M. – PhD, Associate Professor, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *Modern transport requires high-tech solutions to ensure the accuracy, reliability and safety of the operation of transport infrastructure. Computer-based technologies in measurement processes are the basis for intellectualization, automation and optimization of monitoring the state of transport systems. The paper explores the prospects for the implementation of the latest technologies, such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, big data analysis, cloud computing, as well as computer vision in transport measurements. Particular attention is paid to the prediction of malfunctions, optimization of measurement processes and ensuring cybersecurity. The main challenges facing the industry are presented and promising areas of development are outlined that will contribute to the efficiency of transport systems.*

Keywords: *transport measurements, computer-based technologies, intellectualization, measurement methods, artificial intelligence, Big Data*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що в умовах цифровізації сучасного світу комп'ютерно-орієнтовані технології стають основою для інтелектуалізації процесів вимірювань. Інтеграція новітніх рішень, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект, аналіз великих даних та хмарні обчислення, дозволяє суттєво вдосконалити контроль за станом транспортних об'єктів і процесів. Це є надзвичайно важливим для своєчасного виявлення несправностей, оптимізації процесів моніторингу та забезпечення кібербезпеки даних.

Метою роботи є аналіз перспектив розвитку комп'ютерно-орієнтованих технологій у транспортних вимірюваннях та обґрунтування їхнього впливу на підвищення точності, ефективності та безпеки транспортних систем.

Розвиток транспортної інфраструктури є ключовим фактором забезпечення економічної стабільності та інтеграції України до глобальних логістичних

мереж. Технологічні вимірювання займають центральне місце в управлінні транспортними процесами, оскільки від точності та надійності даних залежить безпека, ефективність і своєчасність роботи транспортних систем.

Сучасні транспортні системи стикаються з низкою викликів, серед яких – зношеність інфраструктури, недостатня автоматизація процесів контролю, високі вимоги до безпеки та обмеженість ресурсів. Використання комп'ютерно-орієнтованих технологій у вимірювальних процесах дозволяє подолати ці виклики та створити інноваційні рішення для моніторингу й управління транспортними об'єктами.

Основні напрями впровадження комп'ютерно-орієнтованих технологій у транспортних вимірюваннях включають такі рішення як використання Інтернет речей (IoT), що дозволяє використання сенсорних мереж для збору даних у реальному часі та інтеграцію пристроїв IoT із системами моніторингу для підвищення оперативності вимірювань. Використання інструментів штучного інтелекту дозволяє застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування несправностей, оптимізація роботи транспортних систем на основі аналізу поведінки об'єктів. Аналіз великих даних та хмарні обчислення дозволяють аналіз великих обсягів даних для виявлення закономірностей і аномалій у роботі транспортної інфраструктури. Хмарні платформи для зберігання й обробки вимірювальних даних, доступ до яких можливий з будь-якого місця [1-3].

Використання комп'ютерно-орієнтованих технологій дозволить створити нове покоління інтелектуальних транспортних систем, здатних забезпечити точний і швидкий контроль за станом інфраструктури, транспортних засобів і логістичних процесів. Це сприятиме підвищенню безпеки транспорту, скороченню витрат на обслуговування та зниженню впливу людського фактора на процеси моніторингу. Розробка й інтеграція інноваційних технологій також відкриває широкі можливості для адаптації транспортних систем до викликів майбутнього, зокрема впровадження автоматизованого управління транспортом.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що комп'ютерно-орієнтовані технології є ключем до модернізації транспортних вимірювань і розвитку транспортної інфраструктури в Україні та світі. Їхнє впровадження забезпечить новий рівень автоматизації, точності та безпеки, що сприятиме створенню конкурентоспроможної транспортної системи, здатної відповідати вимогам сучасності та майбутнього.

Л і т е р а т у р а

1. Мішкін Д.А., Петров В.П. Застосування технологій штучного інтелекту для прогнозування несправностей у транспортних системах. Науковий вісник НТУУ «КПІ», 2020, № 12, С. 65-72.
2. Коваленко О. М. Інноваційні підходи до контролю стану транспортної інфраструктури. Вісник Харківського національного університету залізничного транспорту, 2019, № 5, С. 34-40.
3. International Transport Forum: Artificial Intelligence for Transport: Benefits and Challenges. OECD Publishing, 2021.

ЗАСТОСУВАННЯ SCADA СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Панков Є.С. – бакалаврант, pankov_es@gsuite.edu.ua
Державний університет інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

APPLICATION OF SCADA SYSTEMS FOR RAIL TRANSPORT

Pankov E.S. – bachelor's student, pankov_es@gsuite.edu.ua
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper discusses: the relevance of research into the operation of the SCADA system, new principles of information technology, high level of application of the SCADA system on the railway, capabilities of the SCADA system, intended data of the system on the railway, functions of the SCADA dispatching system, dependence of the system on the human factor, multi-level human-machine control system. , creation of automated control systems, extended functional capabilities of the system, use of the automated control system, close connection between SCADA systems and design processes, importance of system data for the railway, the system is an important element for maintaining high standards.*

Keywords: *SCADA system, automated control system, information technology, railway transport, dispatching systems*

Актуальність дослідження зумовлена впровадженням в експлуатацію все більшою кількістю систем керування рухом поїздів на новій елементній базі, яка відкриває нові можливості розвитку інформаційного забезпечення, збору та обробки інформації і віддаленої роботи SCADA системи.

Метою роботи є аналіз сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами на залізничному транспорті, зокрема SCADA систем, які використовуються для автоматизованого збору, обробки та зберігання даних, а також для підвищення ефективності та якості управління залізничною інфраструктурою.

Сучасна автоматизована система управління технологічним процесом являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. Створення АСУ здійснюється з використанням автоматичних інформаційних систем збору даних і обчислювальних комплексів залізниці, які постійно удосконалюються по мірі еволюції технічних засобів і програмного забезпечення [1].

Основні принципи нових інформаційних технологій [2]:

- створення методів та засобів, що дозволяють підвищити якість управління інфраструктурою залізничного транспорту України;
- створення SCADA систем, що застосовуються відносно до особливостей функціонування залізничного транспорту, та призначені для прийняття рішень в екстрених ситуаціях;
- впровадження SCADA систем дає можливість опрацьовувати великі обсяги інформації, звільнити персонал від працевмістних операцій обробки даних, вдосконалювати структуру та підвищити якість технологій управління залізничним транспортом.

Керування залізничним транспортом неможливо уявити без застосування сучасних інформаційно-керуючих систем різного рівня. На сьогодні на залізницях України активно впроваджуються SCADA системи диспетчерської централізації. Ці системи мають розширені функціональні можливості, більш надійні й прості в експлуатації, легко модернізуються й сполучаються з іншими інформаційно-керуючими системами [2].

Високий рівень застосування SCADA систем для управління залізничними станціями характеризується практично повним охопленням функцій аналізу, зв'язку та управління [3]. Дані системи призначені для автоматизованого збору технологічних даних з локальних систем автоматики, подальшої логічної обробки і зберігання зібраних даних з метою надання користувачам та стороннім системам оперативної інформації [4].

Деякі SCADA системи на залізниці дозволяють відстежувати стан складу і окремих локомотивів на екрані дисплея в точці з координатами, визначеними мобільними GPS-приймачами через глобальну супутникову навігаційну систему [3]. За допомогою SCADA-системи диспетчеризації можна здійснювати візуалізацію роботи агрегатів об'єкта управління, архівування будь-яких параметрів, архівування подій, сигналізацію аварій, попереджень і управління технологічним процесом.

SCADA система не здатна самотійно приймати рішення на всіх етапах управління. Як показує практика, використання систем автоматизованого управління не може обійтися без «людського фактора». Дана система займає лише місце грамотного помічника, що має унікальний інструмент швидкого

розрахунку локальних задач, віддалене управління і не менш швидке надання будь-якої інформації в довідковому режимі.

Висновок. У роботі проведений аналіз використання SCADA систем на залізничному транспорті, що значно підвищує ефективність управління, дозволяючи автоматизувати збір і обробку даних, а також покращити оперативність і точність управлінських рішень. Досліджено, що SCADA системи є потужними інструментами, проте вони не можуть повністю замінити «людський фактор» і потребують участі операторів для прийняття важливих рішень, що забезпечує баланс між автоматизацією та людським контролем.

Встановлено, що SCADA-системи на українських залізницях є важливим інструментом для підтримки високих стандартів роботи інфраструктури, забезпечуючи її безпеку, надійність та ефективність.

Л і т е р а т у р а

1. Шевчук І.Б., Коломицев М.В. (2019) Оцінка захищеності SCADA систем на основі функцій правдоподібності, Київ, 68.
2. Кудлак Б.І., Ожигін М.В. Призначення, структура і основні функції SCADA-систем [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.votum.ua/old/uk/publications/scada.htm> (дата звернення: 15.10.2024).
3. Інтелектуальні системи автоматизації: монографія / Аврунін О.Г., Владов С.І., Петченко М.В., Семенець В.В., Татарінов В.В., Тельнова Г.В., Філатов В.О., Шмельов Ю.М., Шушляпіна Н.О. Кременчук: Вид-во «НОВАБУК», 2021, 322 с.
4. Рибальченко М.О., Маначин І.О., Потап О.Ю., Шибакінський В.І. (2022) Розробка комплексу для дослідження систем управління на базі SCADA-системи та прикладного пакету візуального моделювання. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Київ, 33 (72) № 6, 122-129.

ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЯК ЧАСТКОВІ РІШЕННЯ У ПРОЦЕСІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Панков Є.С. – бакалаврант, pankov_es@gsuite.edu.ua
Кульбовський І.І. – к.т.н., доцент, kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua
Державний університет інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

OPTIMIZATION MODELS AS PARTIAL SOLUTIONS IN THE PROCESS OF SYSTEMS ANALYSIS

Pankov E.S. – bachelor's student, pankov_es@gsuite.edu.ua
Kulbovskiy I.I. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua,
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper discusses: systems analysis is of particular importance as a universal method of understanding complex systems, studying the relationship between systems analysis and optimization models, possibilities of optimization models, improving the quality of decision-making and promoting the implementation of new methods, determining their role in solving complex management problems, the functions of systems analysis, the optimization system, model is an element of systems analysis, systems analysis of the results of a comprehensive study of an object or process, the optimization model is focused on determining the best solution to the problem.*

Keywords: *system analysis, optimization models, integration, efficiency, adaptation.*

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком технологій у сучасних умовах, зростанням обсягів даних та ускладненням управлінських процесів системний аналіз набуває особливого значення як універсальний метод пізнання складних систем. Він дозволяє вирішувати широкий спектр завдань у макроекономіці, техніці, екології та інших сферах, забезпечуючи адаптацію до умов невизначеності.

Дослідження взаємозв'язку системного аналізу та оптимізаційних моделей дозволяє підвищити якість прийняття рішень та сприяє впровадженню новітніх методів у різних галузях діяльності, що визначає актуальність цієї тематики.

Метою роботи є аналіз взаємозв'язку між системним аналізом та оптимізаційними моделями, а також визначення їх ролі у вирішенні комплексних завдань управління, прогнозування та функціонування систем різної природи. Дослідження зосереджене на вивченні способів інтеграції оптимізаційних моделей у процес системного аналізу, їхніх можливостей у формалізації реальних процесів і забезпеченні ефективності прийняття рішень.

Системний аналіз - науковий метод пізнання, що являє собою послідовність дій з установлення структурних зв'язків між змінними або

елементами досліджуваної системи. Спирається на комплекс загальнонаукових, експериментальних, природничих, статистичних, математичних методів. Він є тим методом, тією технологією, яка дозволяє швидко вирішувати складні, а часом і надскладні неструктуровані завдання в умовах невизначеності.

Системний аналіз включає здатність до аналізу, прогнозування, проектування прийняття рішень в складних системах різної природи на основі системної методології.

Системний аналіз передбачає всебічне дослідження об'єкта чи процесу, формулювання проблеми, визначення її структури та пошук рішень. У цьому контексті оптимізаційні моделі виконують роль інструменту для вирішення часткових задач, що виникають на різних етапах системного аналізу. У системному аналізі оптимізаційні моделі інтегруються у загальний процес прийняття рішень [1].

Фахівці з системного аналізу проектують, створюють й експлуатують комп'ютерні системи аналізу, прогнозування, управління та проектування динамічних процесів в макроекономічних, технічних, технологічних, екологічних і фінансових об'єктах, здійснюють аналіз бізнес-процесів з погляду їхньої подальшої автоматизації, розробляють технічні завдання та специфікації, тестують програмне забезпечення, формують аналітичні звіти [4].

Оптимізаційна модель є важливим елементом системного аналізу, який застосовується для вирішення складних задач управління, проектування та функціонування систем. Цей взаємозв'язок проявляється у кількох ключових аспектах [1].

Оптимізаційна модель - це абстракція реальної дійсності, в якій відношення між реальними елементами, а саме ті, що цікавлять дослідника, замінені відношеннями між математичними категоріями. Ці відношення зазвичай подаються у формі рівнянь або нерівностей, відношеннями формальної логіки між показниками, які характеризують функціонування реальної системи, що моделюється [2].

До завдань оптимізаційного типу відносяться завдання, в яких потрібно знайти найкраще або оптимальне рішення при заданих умовах виробництва [3].

Системний аналіз передбачає всебічне дослідження об'єкта чи процесу, формулювання проблеми, визначення її структури та пошук рішень. У цьому контексті оптимізаційні моделі виконують роль інструменту для вирішення часткових задач, що виникають на різних етапах системного аналізу. У системному аналізі оптимізаційні моделі інтегруються у загальний процес прийняття рішень.

Оптимізаційна модель зосереджена на визначенні найкращого варіанта розв'язання задачі в межах заданих критеріїв ефективності (наприклад,

мінімізації витрат, максимізації продуктивності, покращення якості). Для цього вона використовує математичні методи, які дозволяють формалізувати реальні процеси через цільову функцію, змінні та обмеження [1].

Висновок. Таким чином, оптимізаційна модель є частиною системного аналізу, що забезпечує локальне вирішення задачі. Її результати використовуються для формування глобальних рішень, спрямованих на ефективне функціонування всієї системи. Взаємозв'язок цих компонентів робить системний аналіз потужним інструментом у вирішенні комплексних проблем.

Л і т е р а т у р а

1. Біловодська О.А. Системний аналіз і прийняття інноваційних рішень / О.А. Біловодська, О.Ф. Грищенко / Управління інноваційною діяльністю: магістерський курс (Інноваційний менеджмент в знаннеорієнтованій економіці): підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. С.М. Ілляшенка. Суми : ВТД «Університетська книга». С. 138 233. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/38432/3/Bilovodska_Gryshchenko.pdf;jsessionid=FDEF572F2985FFA5793116EBB39DCC4F (дата звернення 20.11.2024).

2. Штельма О.М. Конспект лекцій з курсу «Оптимізаційні методи та моделі» (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 122 – Комп'ютерні науки) / О. М. Штельма; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 38 с.

3. Єсіна В.О. Конспект лекцій з дисципліни «Оптимізаційні методи і моделі» (для студентів всіх форм навчання за напрямом підготовки 6.030504 – Економіка підприємства) / В.О. Єсіна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 64 с.

4. 2024 Business Analytics & Data Science [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://ba-ds.lviv.ua/system-analysis/> (дата звернення 20.11.2024).

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ГІЛОК І ГРАНИЦЬ

Пасічник А.М. – д.ф.-м.н., проф, panukr977@gmail.com

Худа Ж.В. – к.ф.-м.н., доц, khudazhanna@gmail.com

Циба В.В. – аспірант, aksel1455@gmail.com

*Дніпровський державний технічний університет
Україна, м. Кам'янське*

OPTIMIZATION OF ROAD CARGO TRANSPORTATION ROUTES WITH USING THE METHOD OF BRANCHES AND BORDERS

Pasichnyk A.N. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
panukr977@gmail.com

Khuda Zh.V. – Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor,
khudazhanna@gmail.com

Tsyba V.V. – graduate student, aksel1455@gmail.com
Dniprovskiy State Technical University,
Ukraine, Kamianske

Abstract. The paper proposes an algorithm for applying the method of branches and boundaries for the optimization of road transportation routes. Based on the proposed approach, the construction of the optimal route for the delivery of finished products from the transport and logistics center located in the city of Dnipro to five district sales bases in the region was carried out.

Keywords: road transportation routes, optimization algorithm, branch and boundary method

Актуальність дослідження. Для підвищення ефективності функціонування української транспортної системи важливе значення має модернізація її логістичної інфраструктури та оптимізація маршрутів автомобільних перевезень, що забезпечують біля 30% від загального обсягу перевезень. Тому для підвищення ефективності логістичних систем управління автомобільними перевезеннями вантажів проблема подальшого удосконалення методів та алгоритмів оптимізації відповідних маршрутів має актуальне значення.

Метою роботи є розробка алгоритму побудови розв'язку транспортної задачі оптимізації маршрутів перевезення вантажів автомобільним транспортом із застосуванням методу гілок і границь.

При проектуванні маршруту необхідно забезпечити найменшу можливу відстань перевезення із відповідного транспортно-логістичного центру до визначених пунктів доставки та одноразовість проходження пунктів їх розташування. Відстані між відповідними пунктами перевезень є відомими і

задані матрицею відстаней $C=\|c_{ij}\|$ ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, n$). Для n пунктів доставки існує $n \cdot (n-1)$ альтернативних маршрутів доставки, із яких один або декілька мають найменшу протяжність, тобто є оптимальними [1]. Математична модель такої задачі в загальній постановці формулюється так: цільова функція транспортної задачі, що визначає загальну довжину маршруту який оптимізується, запишеться в такому вигляді:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

У формулі (1) x_{ij} – коефіцієнт переходу із пункту з номером i в пункт із номером j ; $x_{ij}=1$ для випадку включення такого переходу в маршрут; $x_{ij}=0$ для випадку відсутності такого переходу в маршруті.

Тоді умови мінімізації функціоналу (1) можна представити так:

$$X_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

В даній роботі для побудови розв'язку оптимізаційної задачі (1)-(3) запропоновано застосувати алгоритм побудованій на модифікації методу гілок та границь. У відповідності із запропонованим підходом множина M мінімізації цільової функції F (множина можливих варіантів маршрутів) розбивається на ряд множин, що не перетинаються, із яких визначається підмножина M_1 на якій функція F досягає свого найменшого значення. Потім підмножина M_1 знову розбивається на ряд множин M_{1k} , що не перетинаються, із яких визначається підмножина M_2 на якій функція F досягає свого найменшого значення. Такий процес розгалуження продовжується до отримання одно елементної множини m , яка в теорії методу гілок і границь називається *рекордом*.

На основі запропонованого алгоритму проведено побудову оптимального маршруту доставки готової продукції із транспортно-логістичного центру розташованого в місті Дніпро до п'яти районних баз збуту розташованих на території області, матриця відстаней яких від центру та між ними визначена даними наведеними в табл. 1.

Спершу визначається нижня оцінка функції якості цільової функції на основі матриць мінімальних відстаней за рядками та за стовпцями:

$$Q_0 = \max(Q', Q'') = \max(F CX', F CX'') = \max(358, 358) = 358 \text{ (км)}; \quad (4)$$

$$(F(CX') = F(CX'') = 26 + 136 + 26 + 72 + 45 + 53 = 358 \text{ (км)}).$$

Потім обирається початковий варіант доставки товару: $l_0 = (1, 2, 3, 4, 5, 6)$ і визначається відповідна протяжність даного маршруту:

$$L_0 = F(l_0) = 158 + 136 + 97 + 142 + 101 + 90 = 724 \text{ (км)}. \quad (5)$$

Очевидно, що вихідна область планів M допускає розгалуження на непересічні підмножини: M_{12} , M_{13} , M_{14} , M_{15} , M_{16} . Для цих множин проводиться системний аналіз значень функції якості та відповідних довжин маршрутів розрахованих за наведеним вище алгоритмом:

$$M_{12} (L_{12}=724/ Q_{12}=424), M_{13} (L_{13}=760/ Q_{13}=443), M_{14} (L_{14}=713/ Q_{14}=404), \\ M_{15} (L_{15}=713/ Q_{15}=428), M_{16} (L_{16}=772/ Q_{16}=439). \quad (6)$$

Таблиця 1 – Матриця відстаней перевезень продукції

№ з/п	Пункт призначення	Відстані (км)					
		1	2	3	4	5	6
1	Дніпро	0	158	26	72	71	90
2	ПП2	158	0	136	231	181	236
3	ПП3	26	136	0	97	45	53
4	ПП4	72	231	97	0	142	150
5	ПП5	71	181	45	142	0	101
6	ПП6	90	236	53	150	101	0

Таким чином, для подальшого розгалуження обирається множина M_{14} яка включає $Record = (L_{14}=713/ Q_{14}=404)$, а відповідно і оптимальний розв'язок задачі, що є умовою виключення неефективних гілок для подальшого розгалуження, як таких, що не задовольняють заданим умовам оптимізації. протяжності маршруту доставки продукції в пункти призначення.

Проведений системний аналіз результатів подальших етапів розгалуження дозволив отримати найкращу верхню оцінку функції якості, що відповідає оптимальному розв'язку розглянутої транспортної задачі **$Record = M_{146352}$** . Відповідна схема оптимального маршруту доставки продукції до пунктів призначення, що визначається умовами задачі, визначається так:

Дніпро→ПП4→ПП6→ПП3→ПП5→ПП2→Дніпро.

Таким чином, в якості умови виключення неефективних варіантів і припинення розгалуження є визначення перспективної множини з мінімально можливою протяжністю маршруту доставки в пункти призначення. Процес подальшого розгалуження перспективної множини продовжується до

отримання одно елементної множини, що є умовою визначення оптимального розв'язку за критерієм мінімізації довжини маршруту перевезення з одноразовим заходом в пункт призначення.

Висновок. Результати проведених досліджень показують, що запропонований на основі методу гілок і границь алгоритм дозволяє визначити оптимальний розв'язок задачі зі значним скороченням аналізу можливих варіантів мінімальних маршрутів доставки за рахунок не проведення розгалуження неперспективних гілок (множин). Зазначимо, що такий підхід допускає узагальнення для побудови оптимальних маршрутів доставки продукції до пунктів призначення з мінімізацією відповідної транспортної роботи та з мінімально можливою їх протяжністю.

Л і т е р а т у р а

1. Козар Л.М. Методи транспортної логістики : навч. посіб. / Л.М. Козар, Є.В. Романович, Г.М. Афанасов. Харків : УкрДАЗТ, 2015. 174 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ

Пригорницький Є.В. – магістрант, jekaprugornu@net
Кульбовський І.І. – к.т.н, доцент, kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

RESEARCH OF METHODS AND TOOLS FOR CYBERSECURITY OF DISTRIBUTED DATA PROCESSING AND ANALYSIS SYSTEM

Pryhornytskyi Y.V. – Master's Student, jekaprugornu@net
Kulbovskiy I.I. – Ph.D., Docent, kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technology
Kyiv, Ukraine

Abstract. *The paper analyzes methods and tools for determining the methods means of monitoring the state of functioning of computer systems based on automated systems the expansion of the set of technical states of computer systems makes it possible to develop such state trajectories that record the transition from a working state to a faulty one, this in turn makes it possible to identify malfunctions of computer systems. This study examines modern approaches and software and hardware for monitoring computer network parameters, standards for managing network resources.*

Keywords: *monitoring computer systems operating systems*

Актуальність дослідження зумовлена достатньою великою кількістю, методів програмно-технічних засобів, підходів для здійснення діагностики стану автоматизованих систем, та їх аналізу з метою подальшого застосування є актуальним для як науково пошуку та практичного застосування.

Метою роботи є засоби діагностики можливих вразливостей для того, щоб зменшити загальний ризик для організації, підприємства усунувши якомога більше вразливостей. Це може бути складно враховуючи кількість потенційних уразливостей і обмеженість ресурсів, доступних для виправлення. Керування уразливостями має бути безперервним процесом відстеження нових загроз і змін середовища.

Важливим елементом також варто назвати «відстеження помилок конфігурування комп'ютерної системи», оскільки саме від цього елемента залежить ефективність комп'ютерної системи. За допомогою відстеження помилок конфігурування можна визначити помилки, які є присутні у системі, а також методи і способи їх усунення.

Реалізацією контролю наявності уразливостей та помилок конфігурування системи можна здійснити за допомогою прикладного конфігурування

програмного забезпечення, що спеціалізується на діагностиці комп'ютерних систем.

Одним із засобів дослідження комп'ютерних систем є аналізатор протоколів. «Процес аналізу протоколів включає захоплення циркулюючих у системі пакетів. Спираючись на результатах аналізу, можна здійснювати обґрунтовану і зважену зміну будь-якого компонента системи, оптимізацію її продуктивності, пошук і усунення неполадок. Очевидно, що для того, щоб можна було зробити якісь висновки про вплив деякої зміни на систему, необхідно виконати аналіз протоколів і до, і після внесення змін»

Висновок. Сучасний стан розвитку та широке запровадження комп'ютерних мереж в усі галузі економіки зумовлюють важливість питання про підвищення вимог щодо підтримки їх працездатності, до якості і безпеки роботи в мережі та необхідності моніторингу стану їх функціонування. Саме моніторинг комп'ютерної мережі забезпечує можливість контролювати та убезпечити робочий процес, який пов'язаний з інтернетом і комп'ютерами.

Пошук ефективних методів та програмно-технічних засобів для здійснення постійного моніторингу та діагностики роботи мережного устаткування, прикладних програм і мережних сервісів, є визначальним для організації забезпечення кінцевих користувачів якісним доступом до мережеских ресурсів, та свідчить про актуальність обраної для дослідження теми.

Л і т е р а т у р а

1. Желєзняк В.В., Мясіщев О.А., Ленков С.В., Сєлюков Д.О. Аналіз методів та алгоритмів моніторингу обчислювальних мереж.
2. Моніторинг мережі. URL: <https://www.motadata.com/>
3. Internetworking Technology Handbook: User manual /Jackson C. Massachusetts : Cisco Systems, 2011.
4. Snort. URL: <https://www.snort.org> (дата звернення: 25.11.2022)
5. Security Onion. URL: <https://securityonionsolutions.com>
6. Керування вразливостями. URL: <https://www.microsoft.com/>

ВИКЛИКИ ПРИ СИНТЕЗІ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНІВ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В УМОВАХ АКТИВНОГО ВІЙСЬКОВОГО КОНФЛІКТУ

Проскурняк А.В. – аспірант, proskurnyak_av@gsuite.duit.edu.ua

Кудін А.С. – аспірант, kudin_as@gsuite.duit.edu.ua

Стасюк О.І. – к.т.н., доцент., ostasuk177@gsuite.duit.edu.ua

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

CHALLENGES IN SYNTHESIZING MODELS FOR ANALYZING POWER GRID STATES UNDER ACTIVE MILITARY CONFLICT CONDITIONS

Kudin A.S. – postgraduate student, kudin_as@gsuite.duit.edu.ua

Proskurniak A.V. – postgraduate student, proskurnyak_av@gsuite.duit.edu.ua

Stasyuk O.I. – Ph.D., associate professor, ostasuk177@gmail.com

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The relevance of this research is underscored by the new risks emerging for critical infrastructure during wartime. Power supply systems suffer significant damage, necessitating urgent solutions to maintain the reliability, flexibility, and resilience of the grid under continuous threat. The development of mathematical models for analyzing and managing power grid states in wartime conditions faces unique challenges driven by factors such as the rapid changes in network topology, high data uncertainty, limited resources for information gathering, and the need for swift decision-making.*

Keywords: *Infrastructure, Intelligent Power Grid System, Big Data, Artificial Intelligence, Cybersecurity, Machine Learning*

Актуальність дослідження є надзвичайною у зв'язку з новими ризиками, що виникають для критичної інфраструктури під час війни. Системи електропостачання зазнають серйозних пошкоджень, що потребує невідкладних рішень для підтримання надійності, гнучкості та стійкості мережі в умовах постійної загрози. Розробка математичних моделей для аналізу та управління станами електромережі в умовах військових дій стикається з унікальними викликами, що обумовлюються факторами швидкої зміни топології мережі, високої невизначеності в даних, обмежених ресурсів для збору інформації та необхідності швидкого прийняття рішень.

Метою роботи є визначення викликів та знаходження рішень для синтезу моделей під час активного військового конфлікту. Розробка математичних моделей для аналізу та управління станами електромережі в умовах військових дій стикається з унікальними викликами, що обумовлюються факторами швидкої зміни топології мережі, високої невизначеності в даних, обмежених

ресурсів для збору інформації та необхідності швидкого прийняття рішень. Наприклад, під час конфлікту можуть бути зруйновані головні вузли, що спричинить масштабні перебої у постачанні електроенергії. Для швидкого відновлення важливо мати моделі, які точно оцінюють стан мережі та пропонують оптимальні шляхи ремонту та перепідключення споживачів.

Кібератаки є ще одним суттєвим викликом. В умовах сучасних конфліктів кібернетичні атаки часто супроводжують традиційні військові дії. Наприклад, атакуюча сторона може порушити контрольні системи електромережі, викликавши хаос і збої. В таких ситуаціях необхідно мати надійні моделі, що можуть виявити та протидіяти таким атакам, мінімізуючи їх вплив.

Також важливим фактором є відсутність або обмеженість даних про стан електромережі під час конфліктів. Пошкодження комунікаційних засобів може ускладнити збір необхідних даних, що робить аналіз стану мережі складнішим. В таких умовах моделі повинні вміти працювати з неповними даними та забезпечувати максимально точні прогнози для ухвалення рішень.

Військовий конфлікт створює умови, коли рішення мають прийматися негайно, часто за умов обмежених ресурсів для обробки даних та обчислень. У такому випадку моделі повинні бути не лише точними, але й швидкими в обчисленні, щоб забезпечити своєчасне реагування на критичні ситуації. Методи, що вимагають значних обчислювальних потужностей, можуть бути непридатними через обмеженість ресурсів і недостатність часу на аналіз. У таких умовах ефективними можуть бути спрощені евристичні алгоритми, що забезпечують достатню точність за мінімальних обчислювальних витрат, або алгоритми, що працюють на основі правил і дозволяють миттєво змінювати налаштування мережі в разі виявлення аварійної ситуації.. Наприклад, коли мережа зазнає атак, необхідно миттєво реагувати і приймати рішення про відновлення або захист. Для цього моделі повинні бути здатні швидко обробляти великі обсяги даних та забезпечувати оперативні рішення.

Зміни у топології мережі через руйнування або тимчасові відновлення є ще одним викликом. Наприклад, у разі знищення частини мережі необхідно швидко переорієнтувати потоки енергії, щоб забезпечити стабільне постачання. Моделі повинні враховувати ці зміни і адаптуватися до нових умов, забезпечуючи стабільність мережі.

Під час військових дій електропостачання є критичним для функціонування як цивільних об'єктів (лікарні, водопостачання, життєво важливі установи), так і військових інфраструктур. Невдача у моделюванні або неправильне прогнозування стану мережі може призвести до серйозних наслідків, що вимагає високої точності та надійності моделей. Тому модель має

забезпечувати прогнозування найгірших сценаріїв та враховувати критичність об'єктів, що залежатимуть від стабільного енергопостачання.

Використання систем раннього виявлення ризиків і методів оптимізації для підтримання електропостачання на рівні, достатньому для підтримки життєво важливих об'єктів, є обов'язковою умовою для успіху. Військові дії можуть впливати не тільки на електричну мережу, але й на інші критичні інфраструктури, такі як транспорт, водопостачання, зв'язок.

Моделі електромереж мають бути адаптовані до врахування взаємодії з іншими інфраструктурами, оскільки відмова однієї з них може спричинити каскадні наслідки для інших. У моделюванні такої взаємодії можуть бути корисними багатошарові мережі, що дозволяють відображати зв'язки та залежності між різними інфраструктурами, а також використовувати інформацію з інших систем для покращення прогнозування та реагування. На відміну від мирних умов, у військових конфліктах відновлення мережі може бути ускладнене або затримане, а також існує ймовірність нових пошкоджень.

Моделі повинні враховувати не лише поточний стан мережі, але й потенційні наслідки майбутніх атак, з урахуванням поточних умов та резервних ресурсів. Врахування ймовірнісних сценаріїв пошкоджень і відновлення дозволяє підвищити стійкість системи та мінімізувати ризики відключень, що особливо важливо в умовах частих ударів по інфраструктурі.

Висновок. Таким чином, синтез моделей для аналізу електромереж в умовах військового конфлікту потребує унікального підходу, що враховує нестабільність мережі, високий рівень невизначеності, обмежені ресурси та критичність наслідків. Виклики, з якими стикаються дослідники, вимагають використання гнучких, адаптивних та надійних підходів, що забезпечують стійкість електромережі та її здатність функціонувати у надзвичайно несприятливих умовах. Це потребує розвитку нових інноваційних методів моделювання, здатних забезпечити ефективне управління електропостачанням навіть за умов постійного впливу зовнішніх загроз.

Л і т е р а т у р а

1. Стасюк О.І., Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф. Методи синтезу розподілених комп'ютерно-інтегрованих мереж і технологій інтелектуалізації, моніторингу та оптимізації режимів електропостачання і енергозбереження залізниць. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, № 1, 2015.

<https://doi.org/10.18664/ikszt.v0i1.51497>

2. Кушнаренко, А. М. Моделювання енергосистем. Київ: НТУУ "КПІ", 2019.

3. Anderson, P. M. Analysis of Faulted Power Systems. IEEE Press, 1995., ISBN 0780311450, 536 с.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Пустовий В.А. – бакалавр, pustovyi_va@gsuite.duit.edu.ua

Бухер Д. М. – магістр, buher_dm@gsuite.duit.edu.ua

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

MODERN APPROACHES TO MODELING AND OPTIMIZATION OF PROCESSES IN AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS

Pustovyi V.A. – bachelor, pustovyi_va@gsuite.duit.edu.ua

Bucher D. M. – master's degree, buher_dm@gsuite.duit.edu.ua

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper provides a comprehensive analysis of modern methods for modeling, optimization, and forecasting in the context of automated control systems. Various existing methods of mathematical modeling are reviewed, with a focus on their application for the effective resolution of optimization tasks in technological processes. The analysis highlights the importance of integrating classical methods with modern tools. A new approach is proposed that is based on the utilization of hybrid neural network models for forecasting system states. This approach allows for a reduction in forecasting errors and an increase in the accuracy of management decisions. The developed models can be adapted to various industries, enhancing their universality. A significant potential for combining traditional and contemporary approaches in automated control is identified. The research contributes to the development of theory and practice for effective management in dynamic change conditions.*

Keywords: *Automated control, Mathematical modeling, Optimization, Hybrid neural networks, Forecasting, Machine learning, Genetic algorithms, Adaptive systems*

Сучасні системи автоматизованого управління характеризуються високою складністю та багатомірністю процесів, що в них протікають. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження ефективних методів моделювання, оптимізації та прогнозування для забезпечення якісного управління такими системами. Особливої актуальності набуває питання створення адаптивних систем управління, здатних функціонувати в умовах невизначеності та змінних зовнішніх впливів.

Проведено дослідження різних підходів до математичного моделювання систем автоматизованого управління [1]. Основну увагу приділено трьом методам: аналітичному моделюванню, імітаційному моделюванню та гібридним методам, що ґрунтуються на нейронних мережах. Особливий акцент зроблено на застосуванні методів машинного навчання для створення

адаптивних моделей, здатних ефективно пристосовуватися до змін у середовищі [1-3].

Запропонована архітектура гібридної нейронної мережі, яка об'єднує переваги рекурентних нейронних мереж (RNN) та згорткових нейронних мереж (CNN) [2]. Ця комбінація дозволяє покращити результати моделювання, поєднуючи здатність RNN до роботи із послідовними даними з потужністю CNN у виявленні складних патернів у візуальних даних. Таким чином, досягнуто більшої ефективності в автоматизованому управлінні.

Розглянуто сучасні методи оптимізації процесів управління. Серед них виділяються градієнтні методи оптимізації, генетичні алгоритми, методи районного інтелекту та багатокритеріальна оптимізація. Одним із ключових досягнень є розробка модифікованого генетичного алгоритму, призначеного для оптимізації параметрів систем управління. Цей алгоритм демонструє значне підвищення швидкості збіжності в порівнянні з традиційними методами, що робить його ефективним інструментом для вирішення складних задач у сфері управління [1-3].

Також акцентовано увагу на важливості прогнозування стану систем, що є невід'ємною складовою ефективного управління. Сучасні методи прогнозування допомагають передбачити можливі зміни у системах, що дозволяє своєчасно коригувати управлінські рішення та покращувати загальні показники їхньої роботи.

За допомогою розробленого комплексного підходу до прогнозування стану систем автоматизованого управління, який поєднує три основні елементи: аналіз часових рядів, використання глибоких нейронних мереж та застосування методів нечіткої логіки. Цей інтегрований підхід дозволяє ефективно аналізувати складні дані та забезпечує високу точність прогнозування. Результати експериментальних досліджень підтвердили його ефективність, демонструючи точність прогнозування на рівні 95% для досліджуваних систем. Це свідчить про потенціал даного методу в покращенні управлінських рішень у динамічних системах.

Дослідження на реальних промислових об'єктах продемонстрували високу ефективність впроваджених методів та підходів до прогнозування стану систем автоматизованого управління [2]. Завдяки застосуванню нових алгоритмів і технологій у процесі автоматизації, вдалося досягти значних покращень у ключових показниках.

По-перше, точність моделювання підвищилась на 15-20%, що свідчить про більш точне відтворення реальних умов роботи системи. Це, в свою чергу, дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення на основі отриманих даних.

По-друге, час оптимізації процесів скоротився в 2,5 рази. Це зменшення часу на проведення оптимізації не лише підвищує загальну продуктивність, а й дозволяє швидше реагувати на зміни в умовах експлуатації.

По-третє, якість прогнозування зросла на 25%. Це значне поліпшення дає можливість більш точно прогнозувати потенційні проблеми та забезпечувати їх своєчасне вирішення, що критично важливо для підтримання стабільної роботи промислових об'єктів.

Разом ці показники свідчать про високий потенціал розроблених рішень, які можуть суттєво поліпшити ефективність автоматизованого управління в промисловості та знизити витрати, пов'язані з невірними прогнозами і рішеннями.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було підтверджено, що сучасні методи моделювання, оптимізації та прогнозування в автоматизованих системах управління здатні значно підвищити їхню ефективність. Впровадження нових підходів, зокрема гібридних нейронних мереж та модифікованих генетичних алгоритмів, дозволило досягти істотних поліпшень у точності моделювання, скороченні часу оптимізації та покращенні якості прогнозування. Отримані результати експериментальних досліджень на реальних промислових об'єктах підтверджують значний потенціал цих рішень у підвищенні продуктивності та стійкості промислових процесів в умовах динамічних змін. Таким чином, нові методи не тільки сприяють кращому управлінню, але й допомагають знизити витрати, пов'язані з невірними оцінками та рішеннями.

Л і т е р а т у р а

1. Математичне моделювання технічних і технологічних процесів на ПЕОМ. Конспект лекцій /О.В. Шебаніна і ін.. Миколаїв, 2020, 130 с.
2. Харченко В.О. (2024) Моделювання нейронних мереж: навч. посіб. Суми: Сумський державний університет, 263 с.
3. Нестеренко О.В., Савенко О.І., Фаловський О.О. (2016) Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібник. Київ: НАУ, 188 с.

АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ: ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕСУРСІВ

Рагуліна А.О. – здобувач вищої освіти, nastya.ragulina.2004@gmail.com

Хилько І.І. – старший викладач, hilko@mnaeu.edu.ua

Миколаївський національний аграрний університет

Україна, м. Миколаїв

AUTOMATED AGRICULTURAL MANAGEMENT: YIELD FORECASTING AND RESOURCE OPTIMIZATION

Rahulina A.O. – higher education student, nastya.ragulina.2004@gmail.com

Khilko I.I. – Senior Lecturer, hilko@mnaeu.edu.ua

Mykolaiv National Agrarian University

Ukraine, Mykolaiv

Abstract. Automated management systems in agriculture play a crucial role in enhancing productivity and resource efficiency. By leveraging advanced data collection tools such as drones, IoT sensors, and AI-driven analytics, farmers can accurately predict crop yields and optimize resource usage, including water, fertilizers, and energy. This study explores key technologies and methods for yield forecasting and resource optimization, focusing on the benefits of automation for sustainable agricultural development and improved competitiveness. The integration of these technologies in Ukrainian agriculture promises to boost efficiency and environmental sustainability.

Keywords: IoT, automated management, agriculture, resource optimization, sustainable development

Актуальність теми. З огляду на зростання населення та зміну кліматичних умов, сільське господарство стикається з необхідністю підвищення ефективності використання ресурсів та зменшення витрат. Автоматизовані системи управління є інноваційним рішенням, що дозволяє оптимізувати витрати на воду, добрива та енергію, а також підвищити врожайність за рахунок точного прогнозування та моніторингу. Це особливо важливо в умовах кліматичних ризиків і необхідності сталого розвитку аграрного сектора. Українське сільське господарство також перебуває на шляху до активного впровадження автоматизації, що підвищує його конкурентоспроможність на світовому ринку.

Метою дослідження є аналіз ролі автоматизованих систем управління у прогнозуванні врожайності та оптимізації використання ресурсів у сільському господарстві. Завданням також є виявлення основних підходів та інструментів, що сприяють ефективному впровадженню цих систем у реальні аграрні процеси.

Сучасне сільське господарство стикається з рядом викликів, серед яких особливе місце займають необхідність раціонального використання ресурсів та максимізації врожайності. Розвиток технологій автоматизації та інноваційні підходи до управління аграрними процесами дозволяють значно підвищити ефективність виробництва. Важливу роль у цьому відіграють методи прогнозування врожайності та оптимізації використання ресурсів на основі автоматизованих систем управління. Ці системи дозволяють мінімізувати вплив людського фактору, своєчасно реагувати на зміни та приймати обґрунтовані рішення, що сприяють сталому розвитку аграрного сектора.

Автоматизоване управління в агросекторі є комплексним процесом, який включає в себе моніторинг стану рослин, аналіз ґрунту, управління водними ресурсами, внесення добрив та контроль за кліматичними умовами. Автоматизовані системи використовують різноманітні технології, такі як інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), супутникові знімки та системи GPS. Всі ці технології інтегруються для збору та аналізу даних у режимі реального часу, що дозволяє фермерам мати доступ до точної інформації про стан полів та рослин. Системи автоматизованого управління сприяють вирішенню кількох важливих завдань, зокрема: моніторинг стану рослин і ґрунту, прогнозування врожайності на основі аналізу історичних даних і поточних показників, ефективне управління водними ресурсами та добривами, підвищення екологічної безпеки за рахунок зниження використання хімікатів та води.

Прогнозування врожайності є одним із ключових завдань автоматизованого управління в аграрному секторі. Це завдання дозволяє не лише планувати обсяги збору продукції, але й розраховувати потребу в ресурсах, таких як добрива, вода та робоча сила. Технології прогнозування врожайності базуються на аналізі даних з різних джерел, включаючи історичні дані про врожайність полів, метеорологічні дані та кліматичні умови, інформацію про стан ґрунту та рослин, дані з дронів та супутників.

Застосування штучного інтелекту дозволяє створювати алгоритми, здатні передбачати врожайність на основі великих масивів даних. Такі прогнози мають високу точність і дозволяють фермерам оптимально планувати обробку полів, враховуючи майбутні зміни погодних умов та стану ґрунту. Наприклад, нейронні мережі можуть використовуватися для аналізу даних і створення моделей, що враховують різні фактори, включаючи стан посівів, рівень вологості в ґрунті та температуру [1].

Оптимізація ресурсів у сільському господарстві передбачає зменшення витрат на воду, добрива, насіння та інші матеріали. Вона досягається шляхом точного визначення потреб рослин і цільового використання ресурсів.

Наприклад, що стосується зрошення, системи автоматичного поливу можуть регулювати обсяг подачі води залежно від потреби рослин і погодних умов, що зменшує витрати на воду та підвищує ефективність поливу; щодо добрив, технології точного землеробства дозволяють розподіляти добрива в потрібних місцях на основі аналізу ґрунту, це зменшує витрати на добрива та запобігає забрудненню навколишнього середовища; що стосується управління врожайністю, автоматизовані системи дозволяють контролювати стан рослин у режимі реального часу, що допомагає вчасно виявити захворювання або нестачу елементів живлення та своєчасно застосувати необхідні заходи [2].

Також важливу роль відіграють дрони та супутникові знімки, які дозволяють швидко отримувати інформацію про стан великих територій. Це дає можливість оперативно реагувати на загрози, такі як шкідники або зміни кліматичних умов.

У світі вже є багато прикладів успішного використання автоматизованих систем у сільському господарстві. Наприклад, у США та Західній Європі популярністю користуються системи точного землеробства, які дозволяють фермерам оптимізувати використання ресурсів, зменшувати витрати та підвищувати врожайність. У деяких країнах застосовуються повністю автоматизовані теплиці, де система контролює всі фактори росту рослин – від температури до рівня освітлення.

Українські фермери також починають активно використовувати сучасні технології. Зокрема, ряд аграрних підприємств застосовує системи моніторингу полів, які дозволяють прогнозувати врожайність та оптимізувати витрати на добрива та воду. З розвитком технологій штучного інтелекту та автоматизації, можливості українських аграріїв у цьому напрямі значно зростатимуть.

Висновок. Автоматизоване управління в сільському господарстві відкриває нові можливості для підвищення ефективності виробництва, забезпечення стабільної врожайності та економії ресурсів. Використання сучасних технологій прогнозування та оптимізації ресурсів [3] допомагає не лише зменшити витрати, але й забезпечити сталий розвиток аграрного сектора.

Завдяки впровадженню інноваційних рішень у галузі автоматизації, сільське господарство стає менш залежним від природних умов, що дозволяє аграріям ефективніше планувати свою діяльність та забезпечувати високу якість продукції. Подальший розвиток автоматизованих систем у сільському господарстві буде сприяти розвитку економіки України та підвищенню її конкурентоспроможності на міжнародному рівні.

Л і т е р а т у р а

1. Автоматизована інтелектуальна система в сільському господарстві - переваги

та застосування. Mediacom. URL: <https://mediacom.com.ua/ai-v-silskomu-gospodarstvi-perevagi-ta-zastosuvannya/> (дата звернення: 05.11.2024).

2. Що таке AgTech? Майбутнє сільського господарства - agtecher: The Agri Tech Place. agtecher: The Agri Tech Place. URL: <https://agtecher.com/uk/what-is-agtech-2/> (дата звернення: 05.11.2024)

3. Хилько І.І. Економіко-математична модель оптимізації виробничої структури високотоварних аграрних підприємств. Інноваційні проєкти та парадигми міжнародної освіти : матеріали I Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції, Тбілісі, Грузія – Київ, Україна, 28.02-01.03.2023 р., Georgian Aviation University, 2023. С 69-74. URL: <https://drive.google.com/file/d/1FAqPqhCBmQFtAzhKH7ML3UfjwDxDJgmK/view> (дата звернення: 05.11.2024).

АНАЛІЗ KEYCIB EФEKTИBHOГO УПPAВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ В ПРОЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Рибаченко Я.М. – аспірант, rybachenko_yam@gsuite.duit.edu.ua
Кульбовський І.І. – к.т.н, доцент, kulbovskyi_ii@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

CASE ANALYSIS OF EFFECTIVE COMMUNICATIONS MANAGEMENT IN WORLD PRACTICE IN RAILWAY TRANSPORT PROJECTS

Rybachenko Ya.M. – graduate student, rybachenko_yam@gsuite.duit.edu.ua
Kulbovskyi I.I. – PhD, Associate Professor, kulbovskyi_ii@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *Effective communications management is a key factor in the successful implementation of projects in the field of railway transport. In world practice, significant experience has been accumulated in the application of modern information technologies and methods of organizing communications, which contribute to increasing productivity, reducing risks and optimizing costs. Analysis of cases of the implementation of such solutions allows us to identify best practices that can be adapted to local conditions. The paper considers examples of the implementation of large-scale railway projects, such as the construction of high-speed highways, digitalization of existing infrastructure, as well as the implementation of innovative platforms for coordinating project participants.*

Keywords: *communications management, models, methods, information technologies, automated systems*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що управління комунікаціями є одним із найскладніших аспектів реалізації залізничних проєктів через їх масштабність, багатосторонню координацію та необхідність інтеграції різних технологій. Залізничний транспорт продовжує відігравати провідну роль у розвитку інфраструктури та економіки багатьох країн, і саме комунікаційні процеси часто визначають успіх або провал проєктів. Світова практика демонструє, що застосування інформаційних технологій, таких як системи управління проєктами (PMS), інтернет речей (IoT), цифрові двійники та інші інноваційні рішення, суттєво покращує результати проєктів. Аналіз цих кейсів дозволяє виявити ефективні підходи до вирішення типових проблем, таких як затримки, перевищення бюджету чи комунікаційні бар'єри.

Метою роботи є аналіз світового досвіду ефективного управління комунікаціями у проектах залізничного транспорту для виявлення інноваційних підходів, методів та технологій, які сприяють покращенню взаємодії між учасниками проекту, зниженню ризиків та підвищенню ефективності реалізації залізничних проектів. Робота також спрямована на оцінку можливостей адаптації передових практик до національних умов для оптимізації управління проектами в Україні.

Управління комунікаціями є ключовим елементом у забезпеченні успішної реалізації проектів, особливо у таких складних і масштабних сферах, як залізничний транспорт. Цей процес охоплює координацію обміну інформацією між усіма зацікавленими сторонами проекту, забезпечення своєчасності передачі даних, точності та доступності інформації для прийняття рішень. У сучасній практиці для управління комунікаціями застосовуються різноманітні методи і моделі, які базуються на використанні цифрових технологій і автоматизованих систем.

Методи управління комунікаціями включають такі підходи як структуровані інформаційні потоки, що передбачають формалізацію та стандартизацію процесу передачі інформації, що дозволяє уникнути плутанини та неузгодженостей. Наприклад, використання протоколів звітності чи шаблонів для документів у проектах. Використання хмарних технологій, такі як Google Workspace, Microsoft Teams, або спеціалізовані системи для проектного менеджменту (BIM, Primavera), дозволяють створювати єдиний інформаційний простір. Це забезпечує миттєвий доступ до даних і синхронізацію роботи команд у режимі реального часу. Автоматизація процесів комунікації використовують автоматизовані системи (CRM або ERP) для надсилання нагадувань, повідомлень або створення звітів значно скорочує час на рутинні завдання та підвищує ефективність команди. Алгоритми оптимізації комунікацій допомагають розподіляти інформаційні потоки для уникнення перевантаження каналів зв'язку або дублювання інформації. Застосування Agile-методологій забезпечують гнучкість у комунікаціях і підвищують адаптивність до змін у проекті. Ці методології передбачають регулярні зустрічі команд (daily stand-ups), створення візуальних дошок завдань і швидке реагування на проблеми.

Моделі управління комунікаціями визначають способи побудови взаємодії між учасниками проекту. До основних таких моделей належать мережеві моделі, централізована модель, децентралізована модель, гібридні моделі та моделі на основі технологій штучного інтелекту [1, 3].

Мережеві моделі ґрунтуються на використанні інформаційних систем, які створюють мережеву структуру обміну даними. Наприклад, система BIM

інтегрує всі елементи проекту в єдину цифрову платформу, забезпечуючи прозорість і доступ до актуальної інформації.

У централізованій моделі всі інформаційні потоки концентруються в одному центрі, наприклад, в офісі управління проектом (РМО). Ця модель дозволяє уникнути хаотичного обміну інформацією, але може бути менш ефективною в умовах великих проектів з географічно розподіленими командами. Децентралізована модель передбачає розподіл відповідальності за комунікації між учасниками проекту. Це дозволяє зменшити навантаження на центральний офіс, але потребує високого рівня дисципліни та узгодженості між командами. Гібридні моделі поєднують елементи централізованої та децентралізованої структур. Наприклад, у великих проектах центральний офіс відповідає за стратегічне управління комунікаціями, тоді як оперативна взаємодія делегується на місцевий рівень. Моделі на основі технологій штучного інтелекту використовуються для прогнозування ризиків у комунікаціях, автоматизованого аналізу великих обсягів даних, виявлення можливих затримок або проблем у взаємодії між учасниками.

Управління комунікаціями в проектах залізничного транспорту є складним, але надзвичайно важливим аспектом успішної реалізації інфраструктурних ініціатив. Сучасні інформаційні технології, такі як хмарні платформи, IoT, системи цифрового моделювання та автоматизовані рішення, забезпечують ефективну взаємодію між учасниками проекту, підвищують прозорість і точність інформаційних потоків [2, 4].

Аналіз світового досвіду показує, що використання інноваційних підходів у комунікаціях дозволяє не лише уникати затримок і перевищення бюджету, але й сприяє більш якісному управлінню ресурсами та прийняттю рішень. Водночас впровадження таких підходів вимагає адаптації до локальних умов, забезпечення кібербезпеки та підвищення рівня цифрової грамотності персоналу.

Результати дослідження можуть слугувати основою для розробки рекомендацій щодо впровадження передових методів управління комунікаціями в українських залізничних проектах. Це сприятиме розвитку національної транспортної інфраструктури, її інтеграції в європейські транспортні мережі та підвищенню конкурентоспроможності залізничного транспорту України.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що сучасні методи і моделі управління комунікаціями дозволяють забезпечити безперебійну взаємодію в рамках великих залізничних проектів. Використання цифрових технологій, хмарних платформ і автоматизованих систем не лише

оптимізує інформаційні потоки, але й сприяє зменшенню витрат, покращенню якості прийняття рішень і підвищенню прозорості процесів. Такий підхід є особливо актуальним для масштабних проектів, що реалізуються в умовах складного багатостороннього середовища.

Л і т е р а т у р а

1. Карпенко О.І., Гончарова Н.В. Моделі та методи управління комунікаціями в залізничних проектах: монографія. Київ: Наукова думка, 2020.
2. Застосування інформаційних технологій у залізничній галузі: досвід і перспективи. Транспортні системи і технології, 2022.
3. Hou, W., Shen, Q., & Zhang, X. Application of IoT in Railway Infrastructure Monitoring. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020.
4. Ситнік Б.Т. Основи інформаційних систем і технологій: Навчальний посібник / Б.Т. Ситнік. Харків. УкрДУЗТ. 2018. 130 с.

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА СТІЛОК ТА СИГНАЛІВ

Сахно А.О. – бакалаврант, sahno_ao@gsuite.duit.edu.ua
Герцій О.А. – к.т.н., доцент, gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

MICROPROCESSOR SYSTEM OF SWITCHES AND SIGNALS

Sakhno A.O. – bachelor's student, sahno_ao@gsuite.duit.edu.ua
Gertsy O.A. – Ph.D., Associate Professor, gertsy_ua@gsuite.duit.edu.ua
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper explores microprocessor centralization (MPC) as an advanced alternative to relay-based centralization systems. MPC integrates new functionalities such as data logging, archiving, and real-time monitoring while maintaining high safety and reliability standards. The system leverages microcontrollers and powerful computing units, reducing operational costs, enhancing diagnostics, and enabling integration with upper-level automated systems. Key advantages include increased reliability through redundancy, streamlined management of multiple stations, and reduced equipment footprint, making MPC a cost-effective and scalable solution for railway infrastructure modernization.*

Keywords: *microprocessor centralization, railway automation, reliability, safety, diagnostics*

Актуальність дослідження зумовлена сучасним підходом мікропроцесорної централізації стрілок і сигналів (МПЦ) до управління об'єктами залізничної автоматики, що дозволяє значно підвищити рівень надійності, безпеки та ефективності функціонування залізничного транспорту. Перехід від застарілих релейних систем до мікропроцесорних обумовлений необхідністю скорочення експлуатаційних витрат, зменшення габаритів обладнання та інтеграції залізничних об'єктів у загальну інформаційно-керуючу інфраструктуру.

Метою роботи є аналіз переваг функціональних можливостей і технічних особливостей мікропроцесорних систем централізації стрілок і сигналів, а також оцінка їх впливу на підвищення безпеки та ефективності роботи залізничного транспорту.

Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів – функціональний аналог релейної електричної централізації (ЕЦ), призначений для проектування нових і реконструкції діючих ЕЦ.

В даній системі додатково з'являються нові функції ЕЦ в якості нижнього рівня автоматизованої системи управління технологічним процесом:

- протоколювання, архівування, формування баз даних;
- можливість виводу на дисплей додаткової інформації;
- ув'язка ЕЦ з автоматизованою системою управління верхнього рівня.

Система МПЦ надає додаткову інформацію черговому по станції, а також іншим користувачам залізничного транспорту про поїзну ситуації і появу відмов елементів системи.

Мікроконтролери в поєднанні з комп'ютерами, як основна частина, роблять систему надійною, зручною і простою в обслуговуванні, при значно меншій собівартості в порівнянні з релейними системами.

Застосування мікропроцесорної системи спрощує обмін інформацією з іншими обчислювально-інформаційними і керуючими системами [1].

Структура МПЦ, що включає програмні та апаратні засоби, побудована за багаторівневою схемою і включає в себе:

- основне і резервне автоматизоване робоче місце чергового по станції (АРМ ДСП) для завдання керуючих команд і візуалізації поїзної ситуації;
- автоматизоване робоче місце електромеханіка (АРМ ШН) для забезпечення можливості віддаленого моніторингу стану об'єктів МПЦ;
- програмований логічний контролер (ПЛК) з програмою логіки центральних залежностей для здійснення пересувань по станції;
- апаратуру контролю вільності / зайнятості ділянок колії, схеми комутації стрілок, світлофорів, схеми ув'язування з іншими пристроями (ПАБ, АПС і ін.).

Система МПЦ побудована із застосуванням захищеної архітектури і захищеного інтерфейсу з виконавчими об'єктами. Структура МПЦ дозволяє здійснювати ув'язки з існуючими пристроями ПАБ, АБ, а також інтегрувати сучасні системи інтервального регулювання. Всі центральні залежності логіки централізації реалізує два ПЛК, паралельно виконують програми. ПЛК оснащені засобами внутрішньої діагностики, що дозволяє виявити вихід з ладу елементів системи або збій в програмі і привести дискретні виходи й керовані ними напольні пристрої в безпечний стан. Управління об'єктами виробляється за допомогою пристроїв сполучення з об'єктами.

У МПЦ використовується установка з потужним джерелом безперебійного живлення з акумуляторною батареєю, від якої живляться як електронні пристрої, так і рейкові кола, електроприводи, світлофори, реле, що дозволяє виключити відмови при грозових розрядах, коротких замиканнях в контактній мережі та інших перешкодах.

Переваги МПЦ в порівнянні з релейними системами централізації:

- більш високий рівень надійності за рахунок дублювання багатьох вузлів, включаючи центральний процесор – ядро МПЦ, і безперервного обміну

інформацією між цим процесором і об'єктами управління та контролю (що також сприяє підвищенню рівня безпеки);

- можливість управління об'єктами багатьох станцій і перегонів з одного робочого місця;

- можливість інтеграції управління перегінними пристроями СЦБ і приладами контролю стану рухомого складу в одному станційному процесорному пристрої;

- надання експлуатаційному та технічному персоналу розширеної інформації про стан пристроїв СЦБ на станції з можливістю передачі цієї та іншої інформації в центр управління перевезеннями;

- можливість централізованого та децентралізованого розміщення об'єктних контролерів для управління станційними та перегінними об'єктами;

- можливість безперервного протоколювання дій експлуатаційного персоналу з управління об'єктами і всієї поїзної ситуації на станціях і перегонах;

- наявність вбудованого діагностичного контролю стану апаратних засобів централізації і об'єктів управління і контролю;

- можливість реєстрації номерів поїздів, що прямують по станціях і перегонах, а також всіх відмов об'єктів управління;

- значно менші габарити обладнання і, як наслідок, в 3-4 рази менший обсяг приміщень для його розміщення, що дозволяє замінювати застарілі системи централізації без будівництва нових постів;

- значно менший обсяг будівельно-монтажних робіт;

- використання як середовища передачі інформації між пристроями управління і керованими об'єктами не тільки кабелів з мідними жилами, але й волоконно-оптичних кабелів;

- можливість отримання з архіву параметрів роботи напільних пристроїв СЦБ для подальшого прогнозування їх стану або планування проведення ремонту і регулювання, не допускаючи повних відмов цих пристроїв;

- зниження експлуатаційних витрат за рахунок зменшення енергоємності системи, скорочення приблизно на порядок кількості електромагнітних реле й довжини внутрішньопостових кабелів, застосування сучасних джерел живлення, виключення з експлуатації громіздких пультів управління і маніпуляторів з великим числом рукояток і кнопок механічної дії [2].

Висновок. Мікропроцесорна система централізації стрілок і сигналів є ефективним інструментом модернізації залізничного транспорту, який забезпечує підвищення безпеки, зниження витрат та інтеграцію об'єктів СЦБ у загальну систему автоматизації. Завдяки широким функціональним

можливостям, МПЦ стає стандартом у галузі управління залізничною інфраструктурою.

Л і т е р а т у р а

1. Басов В.І., Єлісєєв В.В., Петренко О.В., Бойнік А.Б., Радковський С.О. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У: Навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. К.: Макрос, 2014. 318с.
2. Мойсеєнко, В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / В.І. Мойсеєнко. Харків: Регіон – інформ, 1999. 147 с.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

Саченюк Д.С. – аспірант, *sachenok_ds@gsuite.duit.edu.ua*

Голуб Г.М. – к.т.н., доцент, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*

Державний університет інфраструктури та технологій (ДУІТ)

Україна, м. Київ

APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS FOR THE RELIABILITY OF INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS

Sachenok D.S. – graduate student, *sachenok_ds@gsuite.duit.edu.ua*

Holub H.M. – PhD, Associate Professor, *golub_gm@gsuite.duit.edu.ua*

State University of Infrastructure and Technology (SUIT)

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article examines the scientific foundations for optimizing the reliability of information and control systems (ICS) in transportation. The focus is on identifying key aspects affecting the reliability of ICS and methods for improving it through system structure optimization. A mathematical model for reliability assessment has been developed, and recommendations are provided for enhancing system elements to increase reliability based on statistical methods. The results obtained can be applied to improve information and control systems in the transportation sector.*

Keywords: *reliability, information and control systems, transportation, optimization, mathematical modeling, systems analysis*

Актуальність дослідження зумовлена значними змінами, які зазнають сучасні транспортні системи завдяки впровадженню інноваційних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI), великі дані (Big Data) та блокчейн. Інформаційно-керуючі системи (ІКС) відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності функціонування транспортних мереж. ІКС охоплюють управління дорожнім рухом, моніторинг транспортних засобів, управління вантажами та комунікації між учасниками транспортних процесів. Однак із впровадженням нових технологій виникають нові виклики щодо надійності та стійкості таких систем.

Метою роботи є аналіз сучасних інновацій в ІКС та запропонування математичних моделей і методів оптимізації надійності систем. Ми також розглянемо проблеми кібербезпеки та взаємодії між компонентами систем, що визначають нові вимоги до їхньої архітектури.

1. Інновації в інформаційно-керуючих системах

1.1 Інтернет речей (IoT)

Інтернет речей є ключовою технологією для моніторингу та управління транспортними системами в реальному часі. Використання IoT дозволяє

відслідковувати переміщення транспортних засобів, контроль технічного стану, оцінювати стан дорожньої інфраструктури. ІКС, що використовують IoT, отримують величезні обсяги даних з датчиків, що допомагає прогнозувати потреби в обслуговуванні та попереджувати аварії[1].

Однак виклики надійності таких систем включають:

а) Мережеві збої – через велику кількість підключених пристроїв зростає ймовірність збоїв у мережі. Перебої можуть негативно вплинути на функціонування системи в критичних ситуаціях.

б) Кібербезпека – IoT-пристрої є вразливими до атак, що може призвести до порушення роботи всієї системи.

в) Енергоспоживання та живлення – для підтримання стабільної роботи пристроїв потрібні нові рішення щодо енергозабезпечення.

1.2 Штучний інтелект (AI)

Штучний інтелект використовується для обробки великих обсягів інформації з метою прийняття рішень у реальному часі. AI дозволяє автоматизувати процеси управління транспортом, прогнозувати ситуації на дорогах, оптимізувати маршрути та покращувати безпеку. Завдяки машинному навчанню, AI-системи можуть адаптуватися до змін у транспортному потоці та передбачати можливі ризики.

Як зазначено в джерелах основні переваги застосування AI:

а) Аналіз та прогнозування – AI здатний аналізувати історичні дані й прогнозувати майбутні події, що допомагає попереджати можливі збої.

б) Автоматизація процесів – зниження впливу людського фактора на ухвалення рішень дозволяє уникати помилок.

Однак недоліки включають:

а) Надмірна залежність від даних – неточні або неповні дані можуть призвести до неправильних рішень.

б) Кіберзагрози – AI-системи можуть стати ціллю для атак, що порушить їхню коректну роботу.

1.3 Блокчейн

Блокчейн забезпечує надійне зберігання та передачу даних у транспортних ІКС, що дозволяє забезпечити прозорість операцій і захист від фальсифікації даних. У транспортних мережах блокчейн може використовуватися для відстеження вантажів, управління контрактами, а також моніторингу стану інфраструктури та рухомих об'єктів[2].

Недоліками блокчейну є:

а) Повільна швидкість транзакцій – у порівнянні з традиційними базами даних блокчейн працює повільніше, що може створювати проблеми при обробці великих обсягів інформації в реальному часі.

б) Енергозатратність – високі вимоги до енергоспоживання для підтримки стабільної роботи блокчейн-мереж.

1.4 Великі дані (Big Data)

Великі дані використовуються для аналізу величезних обсягів інформації, що надходять від IoT-пристроїв, транспортних засобів і інфраструктурних об'єктів[3]. Це дозволяє отримати глибший аналіз транспортних потоків, попиту на перевезення, а також виявити потенційні небезпеки.

Переваги використання Big Data:

а) Прогнозування – на основі аналізу великих обсягів даних можна прогнозувати можливі аварії та затори.

б) Оптимізація ресурсів – аналіз даних дозволяє ефективно розподіляти транспортні потоки.

Недоліки:

а) Зберігання та обробка – велика кількість даних потребує високих обчислювальних ресурсів і ефективної організації зберігання.

б) Захист даних – зберігання великих обсягів даних вимагає додаткових заходів безпеки для захисту від кібератак.

2. Проблеми надійності ІКС на транспорті

2.1 Кібербезпека

Однією з головних проблем, пов'язаних з надійністю ІКС на транспорті, є питання кібербезпеки. Використання IoT, AI та блокчейн робить системи вразливими до атак хакерів, що може призвести до збоїв у роботі систем управління рухом, аварій, та навіть саботажу інфраструктури.

2.2 Взаємодія компонентів

Надійність ІКС залежить від ефективної взаємодії між різними компонентами, такими як датчики, транспортні засоби, мережеві системи та обчислювальні ресурси. Будь-який збій в одному з цих компонентів може призвести до ланцюгових збоїв у всій системі. Задачі балансування навантаження між компонентами та стійкість до відмов є критичними для забезпечення надійності ІКС.

2.3 Надійність мережевої інфраструктури

Оскільки більшість транспортних ІКС використовують хмарні технології та обчислювальні мережі, відмова або нестабільність мережевої інфраструктури може призвести до збоїв у всій системі. Надійність мережевих з'єднань є критично важливою для забезпечення стабільної роботи ІКС.

3. Математичне моделювання надійності ІКС

3.1 Надійність IoT-компонентів

Моделювання надійності IoT-компонентів базується на врахуванні мережевих збоїв, енергоспоживання та можливих кібератак [4]. Математично

ймовірність безвідмовної роботи IoT-пристроїв у певний момент часу можна описати за допомогою експоненціального розподілу:

$$R_{IoT}(t)=e^{-\lambda IoTt}, \quad (1)$$

де $R_{IoT}(t)$ – функція надійності для системи Інтернету речей в момент часу t . Вона показує ймовірність того, що система або компонент ще не вийшов з ладу в момент часу t ;

e – математична стала (базове значення натурального логарифма);

$\lambda IoTt$ – параметр інтенсивності відмов або показник швидкості відмов для системи. Це значення визначає ймовірність того, що система зазнає відмову за одиницю часу. Чим більше $\lambda IoTt$, тим швидше знижуватиметься надійність системи.

t – час, що проходить від початку експлуатації системи.

Таким чином, формула (1) описує експоненційну модель надійності або функцію відмови для системи, що підлягає зниженню надійності з часом, яка зазвичай використовується для моделювання надійності компонентів або систем, таких як Інтернет речей (IoT).

3.2 Надійність AI-компонентів

AI-системи піддаються впливу якості даних і точності алгоритмів. Модель надійності AI-компонентів може бути заснована на ймовірності правильного прийняття рішення:

$$R_{AI}=1-P_{error}, \quad (2)$$

де R_{AI} – надійність системи (AI), тобто ймовірність того, що система виконає завдання правильно або без помилок;

P_{error} – ймовірність помилки, пов'язаної з неправильною обробкою даних або невідповідністю алгоритмів.

Формула (2) описує **надійність системи** або **ймовірність успіху** в контексті **штучного інтелекту (AI)** або інших технологічних систем, де може бути визначена ймовірність помилки. Отже, означає, що надійність системи дорівнює 1 мінус ймовірність помилки. Це стандартне вираження для оцінки ефективності та точності системи – чим менше P_{error} , тим вища надійність системи.

3.3 Надійність блокчейн-систем

Модель надійності блокчейн-систем ґрунтується на врахуванні надійності кожного з вузлів мережі. Надійність всієї системи визначається як добуток надійностей усіх вузлів:

$$R_{blockchain} = \prod_{i=1}^n R_{node_i} \quad (3)$$

де R_{node_i} надійність кожного вузла.

4. Методи оптимізації надійності

4.1 Метаевристичні методи

Зокрема, генетичні алгоритми та методи рою частинок дозволяють знаходити глобальні оптимальні рішення для складних ІКС. Ці методи враховують велику кількість змінних і факторів, що впливають на надійність, та дозволяють розробляти стійкі алгоритми для забезпечення безперервності роботи систем.

4.2 Використання резервування

Резервування критичних компонентів системи є одним з найефективніших способів забезпечення надійності. Стратегії резервування дозволяють підвищити стійкість систем до відмов ключових елементів.

Висновок. В результаті проведеного аналізу, досліджень та розгляду сучасних технологій встановлено, що впровадження інноваційних рішень у транспортні інформаційно-керуючі системи (ІКС) вимагає нових підходів до забезпечення їхньої надійності. Для цього доцільно використовувати новітні методи оптимізації, резервування та математичні моделі, які враховують специфіку кожної технології. Основними напрямками подальших досліджень визначено розробку моделей адаптивної стійкості ІКС до кіберзагроз, а також вдосконалення методів обробки великих даних для підвищення точності прогнозування та оптимізації функціонування транспортних мереж.

Л і т е р а т у р а

1. Djenna Amir, Harous Saad, Saidouni Djamel Eddine. Internet of Things Meet Internet of Threats: New Concern Cyber Security Issues of Critical Cyber Infrastructure // Applied Sciences. 2021. Т. 11, № 10, с. 4580. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/app11104580>.
2. Mingyang Mao, Hong Xiao. Blockchain-based Technology for Industrial Control System CyberSecurity // International Conference on Network, Communication, Computer Engineering (NCCE 2018). 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/325913463_Blockchain-based_Technology_for_Industrial_Control_System_CyberSecurity.
3. Mattia Pedota. Big data and dynamic capabilities in the digital revolution: The hidden role of source variety // Research Policy. 2023. Т. 52, № 7, 104812. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104812>.
4. Guilin Zhao, Liudong Xing. Reliability analysis of IoT systems with competitions from cascading probabilistic function dependence // Reliability Engineering & System Safety. 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106812>.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

Сорока А.В. – аспірант, *arsen.soroka@gmail.com*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Soroka A.V. – postgraduate student, *arsen.soroka@gmail.com*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The advancement of artificial intelligence (AI) has paved the way for groundbreaking innovations in the transport sector, redefining the operation and management of infrastructure. This research explores the transformative role of AI in transport systems, focusing on intelligent traffic management, predictive maintenance, and the integration of autonomous vehicles. By employing machine learning, real-time analytics, and big data technologies, the study identifies opportunities for enhancing efficiency, safety, and sustainability. Furthermore, it addresses the ethical, societal, and regulatory challenges posed by the adoption of AI in transport. These findings provide a roadmap for leveraging AI to build smarter, more adaptive, and resilient transport networks, contributing to the development of sustainable urban ecosystems.*

Keywords: *artificial intelligence, technologies, transport infrastructure, vehicle, innovations*

Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення ефективності, безпеки та екологічної сталості транспортної інфраструктури в умовах стрімкого зростання урбанізації, збільшення транспортних потоків і вимог до сталого розвитку. Сучасні транспортні системи стикаються з численними викликами, такими як перевантаженість дорожніх мереж, висока аварійність, зношення інфраструктури та значний негативний вплив на довкілля.

Метою роботи є аналіз застосування технологій штучного інтелекту у транспортній інфраструктурі та виявлення ключових інноваційних рішень, що сприятимуть сталому розвитку, підвищенню ефективності та безпеки транспортних систем.

Швидке зростання міст і обсягів перевезень ставить значні виклики перед транспортною інфраструктурою, зокрема через затори, забруднення довкілля та зношування мереж. Одночасно, розвиток цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), відкриває нові можливості для розв'язання цих проблем. Використання технологій ШІ дозволяє не лише вирішувати нагальні проблеми, але й створює передумови для довгострокового планування транспортних систем, підвищення якості життя громадян та інтеграції

інновацій у глобальні транспортні мережі.

Впровадження ІІІ може значно зменшити негативний вплив транспорту на довкілля, підвищити пропускну здатність дорожніх мереж та зробити перевезення безпечнішими й ефективнішими. Особливо актуальним це стає для мегаполісів, де інфраструктура знаходиться під постійним навантаженням.

Штучний інтелект у транспортній інфраструктурі надає суспільству багато нових можливостей, однією з яких є інтелектуальні системи управління дорожнім рухом.

Сучасні транспортні системи значною мірою залежать від оптимального управління потоками трафіку. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє: динамічно керувати світлофорами залежно від поточного навантаження, що знижує час простоїв та зменшує споживання пального; прогнозувати затори та дорожні пригоди, використовуючи велику кількість датчиків, камер і GPS-даних; аналізувати дорожню обстановку в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на інциденти та змінювати маршрути.

Наприклад, у Сінгапурі система "Green Link Determining" (GLIDE) контролює всі сигнали світлофора, регулюючи зелений час відповідно до зміни транспортного потоку. GLIDE також зв'язує сусідні сигнали світлофора, щоб дозволити транспортним засобам проїхати від одного перехрестя до іншого з мінімальними зупинками. Ця система показала зниження часу в заторах на 15-20%.

GLIDE використовує петлеві детектори для виявлення присутності транспортних засобів і пішоходів і коригує сигнали світлофора, щоб:

- виділити "зелений" час для автомобілістів і пішоходів на основі попиту;
- забезпечити сполучення "зеленої хвилі" між сусідніми перехрестями для мінімізації кількості зупинок транспортних засобів;
- дозволити швидко усунути несправності світлофорів.

Система GLIDE визначає присутність транспортних засобів і пішоходів на світлофорних перехрестях і використовує логіку й алгоритми для аналізу даних про дорожній рух у реальному часі.

Дротові датчики, прокладені під дорожнім покриттям на перехрестях, визначають присутність транспортних засобів. Це активує локальний контролер, який регулює час світлофора так, щоб більше зеленого часу приділялося напрямку з більшою інтенсивністю руху.

Система GLIDE пов'язує сигнали світлофора на суміжних перехрестях уздовж основних коридорів, координуючи початок їх зеленого часу. Це дозволяє автомобілістам ловити "зелену хвилю" і проїжджати від одного перехрестя до іншого, не зупиняючись на червоне світло [1].

Також є і інші системи, наприклад INRIX AI Traffic настільки точна, що

може визначати швидкість руху на різних смугах, допомагаючи приймати кращі рішення на дорозі. Деталі швидкості руху по смугах руху забезпечують швидші та безпечніші поїздки, інформуючи водіїв, коли потрібно з'їхати зі смуги для повороту чи на смугу для швидкісних поїздів/автомобілів, щоб вони не застрягли під час уповільнення. INRIX AI Traffic миттєво оновлює дорожні умови — від дорожніх робіт до аварій і повсякденних заторів — тримаючи водіїв на крок попереду [2].

Прогнозування стану інфраструктури — це також одна з можливостей штучного інтелекту у транспортній інфраструктурі. ШІ дозволяє прогнозувати зношування доріг, мостів та інших елементів транспортної мережі. Використання дронів із технологіями комп'ютерного зору дає змогу:

- ідентифікувати тріщини, корозію або зсуви в реальному часі;
- створювати 3D-моделі об'єктів для планування ремонтних робіт;
- оптимізувати витрати на обслуговування за рахунок раннього виявлення дефектів.

Автономні автомобілі, автобуси та навіть вантажівки швидко стають реальністю. ШІ забезпечує: розпізнавання об'єктів (пішоходів, транспортних засобів, дорожніх знаків), прийняття рішень у складних дорожніх ситуаціях, планування маршрутів з урахуванням погодних умов і заторів.

Найбезпечніший водій на світі на сьогодні — це самокерована автівка, яка не тільки бачить далі й підтримує зв'язок з іншими автомобілями, а й приділяє неподільну увагу дорозі, не ризикуючи заснути, відірватися на телефонний дзвінок або пропустити поворот [3].

Tesla, Waymo та інші компанії демонструють можливості цієї технології. Наприклад, Waymo Driver — це втілення повністю автономної технології, яка завжди під контролем від посадки до пункту призначення. Пасажирам навіть не потрібно вміти водити. Вони можуть сидіти на задньому сидінні з Waymo Driver, який самостійно доставить їх до місця призначення. Замість того, щоб покладатися виключно на зовнішні дані, такі як GPS, які можуть втрачати сигнал, Waymo Driver використовує дуже деталізовані спеціальні карти, зіставлені з даними датчиків у реальному часі та штучним інтелектом, щоб завжди визначати своє точне місцезнаходження на дорозі. Ситуації водіння можуть включати сотні об'єктів, кожен зі своєю унікальною поведінкою та намірами. Waymo Driver використовує інформацію, яку він збирає в режимі реального часу, а також досвід, накопичений за 20+ мільйонів миль реального водіння та 20+ мільярдів миль у симуляції, і використовує штучний інтелект, щоб передбачити, що можуть зробити інші учасники дорожнього руху. Він розуміє, чому автомобіль рухається по-іншому, ніж велосипедист, пішохід чи інший об'єкт, а потім миттєво передбачає численні можливі шляхи, якими

можуть рухатися інші учасники дорожнього руху [4].

Економічними перевагами використання ІІІ у транспортній інфраструктурі є ефективність та економія ресурсів. Автоматизовані системи управління дозволяють зменшити витрати пального на 10-30% завдяки оптимізації руху, знизити кількість аварій, що економить мільярди доларів на відновлення інфраструктури та оптимізувати логістичні процеси, скорочуючи час доставки товарів.

Екологічними плюсами використання ІІІ у транспорті є зменшення негативного впливу на екологію. Транспортні рішення на основі штучного інтелекту зменшують викиди за рахунок оптимізації маршрутів і підвищення ефективності палива. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) повідомляє, що ІІІ на транспорті може скоротити викиди вуглецю на 20–25% [5].

Але разом з перевагами також виникають і виклики та ризики впровадження ІІІ.

Наприклад, технічними викликами є необхідність високоякісних даних для навчання моделей ІІІ, невизначеність у поведінці алгоритмів у незнайомих ситуаціях.

Проблема контролю ІІІ полягає в тому, щоби створити надрозум, який допомагатиме людям, і уникнути ймовірності того, що ІІІ навмисно чи випадково заподіє шкоду людині [3].

Соціально-економічними аспектами є вплив на зайнятість через автоматизацію транспортних професій та не завжди позитивне прийняття автономних транспортних засобів населенням.

Етичними та правовими викликами є забезпечення приватності даних користувачів та створення нормативної бази для регулювання автономного транспорту.

Висновок. У результаті аналізу, можна впевнено стверджувати, що штучний інтелект стає невід’ємною складовою сучасної транспортної інфраструктури. Його впровадження сприяє підвищенню безпеки, ефективності та сталості транспортних систем. Проте для повної реалізації потенціалу необхідно вирішити низку технічних, соціальних та правових питань. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів, інтеграцію ІІІ в усі сфери транспортної інфраструктури та розробку стандартів для глобальної адаптації технологій.

Л і т е р а т у р а

1. Land Transport Authority. (2024). Retrieved from https://www.lta.gov.sg/content/ltgov/en/getting_around/driving_in_singapore/intelligent_transport_systems/green_link_determining_system.html
2. INRIX. AI Reducing Traffic Congestion. (2024). Retrieved from <https://inrix.com/>

products/ai-traffic/.

3. Штучний інтелект і нейромережі. Збірник самарі. (2024). Харків: Monolith Bizz.

4. Waymo. Waymo driver. (2024). Retrieved from <https://waymo.com/waymo-driver/>.

5. AI Tech Daily. AI in Transportation: Revolutionizing the Future of Mobility. Medium. (2024). Retrieved from <https://medium.com/@aitechdaily/ai-in-transportation-revolutionizing-the-future-of-mobility-c2247d300379>.

ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМ КРОКОВИМ ПРИСТРОЄМ

Сухопара О.М. – к.т.н., керівник сектору, 701_701@ukr.net
Науково - виробниче підприємство «МТІ»

Україна, м. Київ

Смолянiнов В.Г. – к.т.н., доц., керівник, 701_701@ukr.net
Науково –виробниче підприємство «Техпромсервіс»

Україна, м. Київ

OPTIMIZATION OF CONTROL OF A LINEAR STEPPER DEVICE

Sukhopara O.M. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Sector, 701_701@ukr.net
Research and Production Enterprise “MTI”

Ukraine, Kyiv

Smolianinov V.G. – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head, 701_701@ukr.net
Research and Production Enterprise “Techpromservis”

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article analyzes the use of automated control (AC) of linear stepping devices (LSD) with optimization of speed and energy consumption during step-by-step movement of the LSD moving link. During the LSD operation, control is exercised over the change in electromagnetic parameters during movement of the LSD moving link by the step value. Information about the movement, embedded in the change in the electromagnetic characteristics of the LSD, is used to build the AC without using additional position, movement and speed sensors of the LSD moving link, allows to optimize the weight and size indicators of the LSD and the control system, to make it compact and energy efficient .*

Keywords: *optimization of control , electromagnetic parameters , linear stepper device .*

Актуальність дослідження зумовлена впровадженням при оптимізації в системах автоматизованого управління виробничими процесами лінійного електромагнітного привода з використанням в якості виконуючого органу лінійного кроковий пристрою з власною системою керування.

Метою роботи є проведення оглядового аналізу та дослідження електромагнітних процесів та енергетичних характеристик лінійного крокового пристрою (ЛКП) при оптимізації вагогабаритних показників, швидкодії та енергоспоживання, на кроці пересування рухомої ланки ЛКП.

Оптимізувати керування з контролем переміщення та швидкості рухомої ланки ЛКП можливо в системи локально - замкнутого електромагнітного привоу, використовуючи сигнали відповідних датчиків положення, пересування або швидкості [1] для комутації обмоток ЛКП. Використання датчиків призводить до ускладнення конструкції ЛКП, збільшенню приєднаної маси рухомої частини, що погіршує вагогабаритні, динамічні та енергетичні показники електромагнітного привода в цілому.

Оптимізувати вагогабаритні показники ЛКП можна при використанні інформації про зміну параметрів електромагнітних процесів, що відбуваються в ЛКП при пересуванні рухомої ланки. Аналіз роботи ЛКП з рухомою ланкою із феромагнітного матеріалу як при лінійному пересуванні [2] так і обертовому русі [3, 4], свідчить, що під дією електромагнітних сил на кроці пересування, відбувається зміна форми струму в обмотках ЛКП. Дослідження зміни струму в обмотках ЛКП [2], визначило, що на інтервалі від $0 - t_1$ (див. рис. 1, [2]), відбувається зростає струм у включеній обмотці але ланка не рухається, потужність джерела живлення йде на накопичення електромагнітної енергії для початку її пересування. На інтервалі від t_1 до t_2 , відбувається пересування рухомої ланки, накопичена електромагнітна енергія перетворюється в механічну енергію. Після часу спрацювання t_2 , що дорівнює часу зрушення t_1 та часу пересування t_d , рухома ланка досягає положення магнітної рівноваги, струм в обмотці починає зростати і до часу t_3 досягає сталого значення. На цьому інтервалі від t_2 до t_3 , де пересування рухомої ланки вже закінчилося, спожита потужність витрачається тільки на нагрів структури ЛКП та повністю перетворюється в потужність втрат.

Аналізі енергетичних характеристик через величини спожитої потужності, яка характеризує пересування рухомої ланки ЛКП, та використовується, як на створення тягового зусилля, так і на гальмування і нагрів ЛКП за допомогою метода інтегрування миттєвих потужностей, можна представити у вигляді

$$P = \int_0^{t_1} U_n i_{y1} dt + \int_{t_1}^{t_2} U_n i_{y2} dt + \int_{t_2}^{t_3} U_n i_{y3} dt + \int_{t_3}^{t_{\text{викл.}}} \frac{U_n^2}{R_n} dt ,$$

де U_n – постійна напруга джерела живлення; i_{y1}, i_{y2}, i_{y3} – сталі значення струму на окремих інтервалах у включеній обмотці ЛКП, R_n – активний опір обмотки.

Величина першого доданку характеризує потужність, необхідну для подолання сил тертя і протидіючих сил інерції рухомої ланки і приєднаної маси ЛКП. Починаючи з певного запасу (в точці t_1), потужність, що надходить в електромагнітну систему ЛКП, використовується для пересування рухомої ланки і приєднаної до неї маси, що відповідає другому доданку на інтервалі $t_1 - t_2$.

Два останні доданки наведеного виразу відображають потужність, яка продовжує надходити в електромагнітну систему ЛКП після пересування рухомої ланки на довжину кроку і досягнення положення магнітної рівноваги в секції ввімкнутої обмотки, та витрачається на нагрів структури ЛКП. Зазначимо, що потужність на інтервалі $t_2 - t_3$ більшою мірою витрачається на створення гальмівних зусиль, та спрямована на зменшення кінетичної енергії

рухомої ланки, а потужність, що дорівнює останньому доданку $t_3 - t_{\text{викл.}}$, практично вся витрачається на нагрів структури ЛКП.

Таким чином оптимізація автоматизованого управління електромагнітним приводом, при підвищенні швидкодії та зменшенні енергоспоживання, потребує видалення або значного скорочення часового інтервалу $t_2 - t_3$, та повного виключення інтервалу $t_3 - t_{\text{викл.}}$. Оптимізація досягається коли довжина імпульсів керування формується відповідно до зміни форми струму в обмотках ЛКП і відключення відбувається або в часі t_2 , або після часу t_2 з невеликою затримкою для надійного спрацювання ЛКП. За рахунок використання інформації про зміну електромагнітних процесів при пересуванні рухомої ланки ЛКП, не потрібні додаткові контролюючі датчики, що оптимізує вагогабаритні показники ЛКП та електромагнітного привода в цілому.

Висновок. В результаті проведеного аналізу встановлено що оптимізація автоматизованого управління електромагнітним приводом досягається без використання приєднаних додаткових датчиків контролю за пересуванням рухомої ланки ЛКП за рахунок контролю електромагнітних параметрів, при зміні форми струму у ввімкнутих обмотках ЛКП, що використовується для оптимізації вагогабаритних показників, швидкодії та енергоспоживання, на кроці пересування рухомої ланки ЛКП.

Л і т е р а т у р а

1. Гнатов А.В. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / А.В. Гнатов Щ.В. Аргун І.С. Трунова. Харків: ХНАДУ, 2016. 292 с.
2. Смолянінов В.Г., Сухопара О.М. Енергоефективне керування лінійним кроковим пристроєм. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. К.: КНУТД, 2019. Вип. 4 (136). С. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.4>.
3. Коваленко М.А., Мацюк Д.С. Автономний експериментальний стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера. *Електротехніка та електроніка*. 2015. № 2. С 15-20. URL: <http://periodicals.zntu.edu.ua/index.php/1607-6761>
4. Мельников О.В. Проектування силових транзисторних перетворювачів енергії для систем автоматизованого електроприводу постійного струму. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2021. № 2 (54). С.31–39. DOI: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2021.2.54.31-39>

ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Ткачук М.С. – аспірант, *tkachuk_ms@gsuite.duit.edu.ua*
Кульбовський І.І. – к.т.н, доцент, *kulbovskiy_ii@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

APPLICATION OF A MODULAR APPROACH TO THE ORGANIZATION OF COMPUTER SYSTEMS OF RAILWAY AUTOMATION

Tkachuk M.S. – graduate student, *tkachuk_ms@gsuite.duit.edu.ua*
Kulbovskiy I.I. – PhD, Associate Professor, *kulbovskiy_ii @gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper considers the use of a modular approach to the organization of computer systems of railway automation as an innovative method that allows to increase the efficiency, reliability and safety of railway infrastructure management. The proposed approach is based on the structural decomposition of the system into independent functional modules, each of which performs a specific task. This ensures the flexibility of the system, the possibility of integrating modern technologies (internet of things, artificial intelligence, big data), facilitates maintenance and reduces the cost of operation.*

The study contains an analysis of the advantages of the modular approach, a description of the principles of its implementation, examples of practical application for the automation of switch and signal control and monitoring of the infrastructure condition. The results of the work will contribute to increasing the level of safety, reliability and efficiency of railway automation in Ukraine.

Keywords: *modular approach, railway automation, computer systems, innovative technologies, monitoring, automation*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що сучасна залізнична інфраструктура є критично важливою складовою транспортної системи України, що забезпечує перевезення пасажирів і вантажів, підтримуючи економічний розвиток країни. В умовах післявоєнного відновлення України, коли значна частина залізничної мережі зазнала пошкоджень, зростає потреба у впровадженні новітніх технологій, здатних підвищити ефективність, безпеку та надійність роботи залізничної автоматики. Модульний підхід до організації комп'ютерних систем є одним із найперспективніших методів, який дозволяє створювати гнучкі та масштабовані рішення.

Метою роботи є розробка та обґрунтування застосування модульного підходу до організації комп'ютерних систем залізничної автоматики, що сприятиме підвищенню ефективності, безпеки та надійності управління

залізничною інфраструктурою в умовах післявоєнного відновлення та інтеграції України в сучасну європейську транспортну систему..

Модернізація залізничної автоматики є важливим завданням для забезпечення ефективності, безпеки та надійності транспортної інфраструктури України. У контексті післявоєнного відновлення країни особливо актуальним є впровадження сучасних технологій, що дозволяють оперативно відновлювати та масштабувати залізничну інфраструктуру. Модульний підхід до організації комп'ютерних систем залізничної автоматики є ефективним рішенням для цих завдань, адже забезпечує гнучкість, сумісність, надійність та можливість інтеграції з новітніми технологіями.

Залізнична автоматика традиційно базується на монолітних системах, які мають ряд недоліків: складність модернізації через інтегрованість апаратної і програмної частин; високий рівень залежності системи від центрального вузла, що знижує її стійкість до збоїв; високі витрати часу та ресурсів на адаптацію систем до нових технологічних умов [1].

Застарілі технології ускладнюють інтеграцію сучасних рішень, таких як Інтернет речей, штучний інтелект та аналіз великих даних, які можуть значно підвищити ефективність залізничних перевезень.

Застосування модульного підходу передбачає створення комп'ютерної системи із незалежних компонентів (модулів), кожен з яких виконує певну функцію. Основні переваги такого підходу це додавання нових функцій або оновлення компонентів без значних змін у загальній архітектурі [2-3]. Також одним з основних підходів це є локалізація несправностей в окремих модулях, що зменшує ризик відмови всієї системи; швидка адаптація системи до нових технологій або змін в інфраструктурі, можливість використовувати стандартні компоненти, що знижує вартість розробки і технічного обслуговування.

Для застосування модульного підходу необхідно систему залізничної автоматики розподілити на модулі: управління сигналами, моніторингу стану інфраструктури, зв'язку, обробки даних.

Програмне забезпечення модулів базується на стандартизованих інтерфейсах для взаємодії між компонентами. Це дозволяє інтегрувати систему з іншими технологіями, такими як SCADA-системи, хмарні сервіси або мобільні додатки для моніторингу [4].

Впровадження модульного підходу в модулі автоматизації управління стрілками та сигналами дозволить забезпечити автономну роботу локальних ділянок залізничного полотна, які залишаються функціональними навіть у разі виходу з ладу центрального вузла. Модуль моніторингу стану залізничних колій, який буде обладнаний датчиками, які підключені до модулів, будуть передавати інформацію про стан рейок до центральної системи в реальному

часі. Це дозволить своєчасно виявляти дефекти та уникати аварій. А використання алгоритмів обробки великих даних у модулі обробки даних сприяє ефективному плануванню руху, зменшенню затримок та підвищенню пропускнуої здатності залізниць, що відповідає за оптимізацію графіків руху поїздів.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що модульний підхід є перспективним рішенням для модернізації залізничної автоматики, особливо в умовах післявоєнного відновлення інфраструктури України. Застосування такого підходу дозволить підвищити ефективність, безпеку та надійність залізничного транспорту.

Для успішного впровадження необхідно розробити стандарти для модульних систем, проводити навчання персоналу та сприяти інтеграції сучасних технологій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення цифрових двійників модульних систем для їх тестування та прогнозування ефективності в реальних умовах.

Л і т е р а т у р а

1. Бунчуков О.А. Майбутнє починається сьогодні. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://mautic.appau.org.ua/asset/29:uzno27-2832-33pdf>.
2. Дудар І.П., Ковальчук М.М. *Модернізація систем залізничного транспорту в умовах сучасних викликів*. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2020.
3. Бейко В.М., Шебанін В.А. *Основи залізничної автоматики та телемеханіки*. Київ: Укрзалізниця, 2015.

РОЛЬ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Троянівський В.І. – аспірант, *troyanovskii_vi@gsuite.duit.edu.ua*
Гончарова Л.Л. – к.т.н, доцент, *goncharova_ll@gsuite.duit.edu.ua*
Київський інститут залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

THE ROLE OF MATHEMATICAL MODELS IN THE ORGANIZATION OF INTELLECTUAL NETWORKS OF THE RAILWAY TRANSPORT POWER SUPPLY SYSTEM

Troyanovskii V.I. – graduate student, *troyanovskii_vi@gsuite.duit.edu.ua*
Goncharova L.L. – PhD, Associate Professor, *goncharova_ll@gsuite.duit.edu.ua*
Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article considers the role of mathematical models in the organization of intelligent networks of railway power supply systems. The main modeling methods, such as linear programming, dynamic modeling and machine learning algorithms, used to optimize energy consumption, reduce energy losses and increase system reliability are described. Particular attention is paid to the integration of renewable energy sources, the use of energy storage and load forecasting. The results of the study demonstrate the potential of mathematical models to increase the efficiency of railway power networks and reduce their impact on the environment.*

Keywords: *mathematical models, intelligent energy networks, energy consumption optimization, load forecasting, energy conservation, system reliability*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що залізничний транспорт є важливою частиною інфраструктури сучасної економіки, яка значно залежить від стабільності та енергоефективності систем електропостачання. У контексті глобальних змін, таких як зростання цін на енергоносії, збільшення обсягів перевезень і впровадження відновлюваної енергетики, зростає потреба у створенні інтелектуальних мереж. Математичні моделі відіграють вирішальну роль у розробці оптимальних рішень, які дозволяють знизити витрати, забезпечити стійкість системи та адаптувати її до нових викликів.

Метою роботи є розробка та аналіз математичних моделей, що використовуються для організації інтелектуальних мереж електропостачання залізничного транспорту. Завданнями дослідження є визначення основних підходів до моделювання, оцінка ефективності запропонованих моделей у реальних умовах та розробка рекомендацій для їх впровадження в практику. Це

дозволить підвищити енергоефективність, зменшити операційні витрати та забезпечити стабільність енергетичної інфраструктури залізниць.

Залізничний транспорт є однією з найбільш енергоємних галузей, де стабільність та ефективність електропостачання відіграють ключову роль у забезпеченні безперервності перевезень. Інтелектуальні мережі (smart grids) систем електропостачання дозволяють не лише задовольняти поточні потреби, а й адаптуватися до нових викликів, таких як інтеграція відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності та забезпечення стійкості до навантажень. У цьому контексті математичні моделі стають невід'ємним інструментом, що дозволяє оптимізувати функціонування систем електропостачання залізниць.

Математичні моделі дозволяють вирішувати комплексні завдання, моделюванням енергоспоживання різними ділянками залізничної мережі для зниження втрат енергії та підвищення ефективності роботи підстанцій. Використання моделей для аналізу історичних даних та прогнозування майбутніх потреб у електроенергії з урахуванням сезонних і добових коливань. Розробка моделей для планування використання сонячної або вітрової енергії в поєднанні з традиційними джерелами живлення. Оптимізація процесів заряджання та розряджання батарейних систем для зменшення пікових навантажень і забезпечення резервного живлення. Моделювання сценаріїв аварійних ситуацій для розробки механізмів швидкого реагування та забезпечення безперервного енергопостачання [1,2] .

Розробка математичних моделей для інтелектуальних мереж базується на лінійному програмуванні, моделях машинного навчання, системах динамічного моделювання, алгоритмах пошуку мінімуму.

На основі розроблених моделей можна досягти зниження втрат електроенергії на 10–15% завдяки оптимізації розподілу навантаження, підвищення надійності системи за рахунок використання прогнозування можливих збоїв [3], ефективної інтеграції альтернативних джерел енергії у залізничну енергомережу.

Висновок. В результаті проведеного дослідження було виявлено, що математичні моделі є ключовим інструментом для організації інтелектуальних мереж електропостачання залізничного транспорту. Їх використання дозволяє підвищити енергоефективність, забезпечити стабільність та адаптивність системи до нових викликів. Розробка і впровадження таких моделей сприятиме вдосконаленню енергетичної інфраструктури, зменшенню витрат на експлуатацію та забезпеченню екологічної стійкості.

Для подальших досліджень рекомендується зосередитись на інтеграції штучного інтелекту у моделі управління енергомережами, що дозволить підвищити точність прогнозів і оперативність реагування на зміну умов.

Л і т е р а т у р а

1. Stasiuk O., Kuznetsov V., Zubok V., Goncharova L., Muntian A. Mathematical Models of Effective Topology of Computer Networks for Electric Power Supply Control on Railway Transport / Communications - Scientific Letters of the University of Zilina (Electrical Engineering in Transport), Vol 24, No 2 (2021), P. 27-32. DOI:10.26552/com.C.2022.2.C27-C32
2. Кудря, С.О., і Жежера, О.В. Математичні моделі та методи оптимізації у системах електропостачання залізниць. *Енергетика та транспорт*, вип. 2, 2021, с. 45-52.
3. Kulbovskyi, I., Holub, H., Skliarenko, I., Bambura, O., & Soloviova, O. Development of a system model for the functioning of distribution electrical supply systems in transport infrastructure projects. *Technology Audit and Production Reserves*, 2019, 4(2(48), 24–28. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.179260>

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ

Туман К.О. – бакалаврант, *tumankiril@gmail.com*
Кириченко О.С. – к.т.н., доцент, *oskyrychenko@gmail.com*
Київський інститут водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

REMOTE AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR DIESEL GENERATORS

Tuman K.O. – bachelor's student, *tumankiril@gmail.com*
Kyrychenko O.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
oskyrychenko@gmail.com
Kyiv Institute of Water Transport
named after Hetman Peter Konashevich-Sagaidachny
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The work has analysed the unified system of remote automated control of diesel generators, providing power to the consumers of the vessel under normal operating conditions. The unification of the remote automated control system under consideration takes into account the specific features of its climatic design. Remote automated control systems for these diesel generators provide for automation of the following operations: keeping the diesel engine warm, start-up, control during operation as intended, decommissioning, monitoring and protection. Commissioning, synchronization, loading and shutdown of the diesel generator are performed by means of a special automatic control device (automatic control) or by a remote operator (remote control).*

Keywords: *system, remote automated control, unification, climatic performance of the system, diesel generator*

Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю уніфікації систем автоматизованого дистанційного керування (ДАК) як комплексу пристроїв, які забезпечують роботу всіх механізмів, що обслуговують головний двигун, пуск двигуна, його прогрів, виведення на експлуатаційне навантаження, реверсування, зупинку, зміну обертів і поточний контроль за роботою дизеля [1, 2].

Метою роботи є аналіз уніфікованої системи "СДГ-Т" дистанційного автоматизованого керування судновим дизель-генератором.

Система ДАК тропічного виконання "СДГ-Т" призначена для дистанційного автоматизованого керування дизель-генераторами (ДГ) змінного та постійного струму потужністю 100-1000 кВт. Вона виконує наступні функції: підтримка ДГ у прогрітому стані; дистанційний або за сигналом від

системи керування ЕЕУ пуск ДГ з холодного або прогрітого стану та виведення його на номінальну частоту обертання з видачею сигналу в систему керування про готовність до прийому навантаження; захист ДГ при аварійному відхиленні параметрів (тиску мастила та води, температури мастила та води, частоти обертання) з видачею сигналу розшифрування причини аварії; видачу попереджувальних сигналів про стан параметрів ДГ; дистанційну або за сигналом ззовні зупинку ДГ за спеціальною програмою; екстрену (аварійну), а також ручну зупинку двигуна [3, 4].

Система ДАК "СДГ-Т" передбачає можливість забезпечення всіх варіантів технологічної послідовності операцій обслуговування, характерних для серійних судових дизель-генераторів (ДГР 300/1000, 6Д50А, ДГР 300/500-2 та ін.).

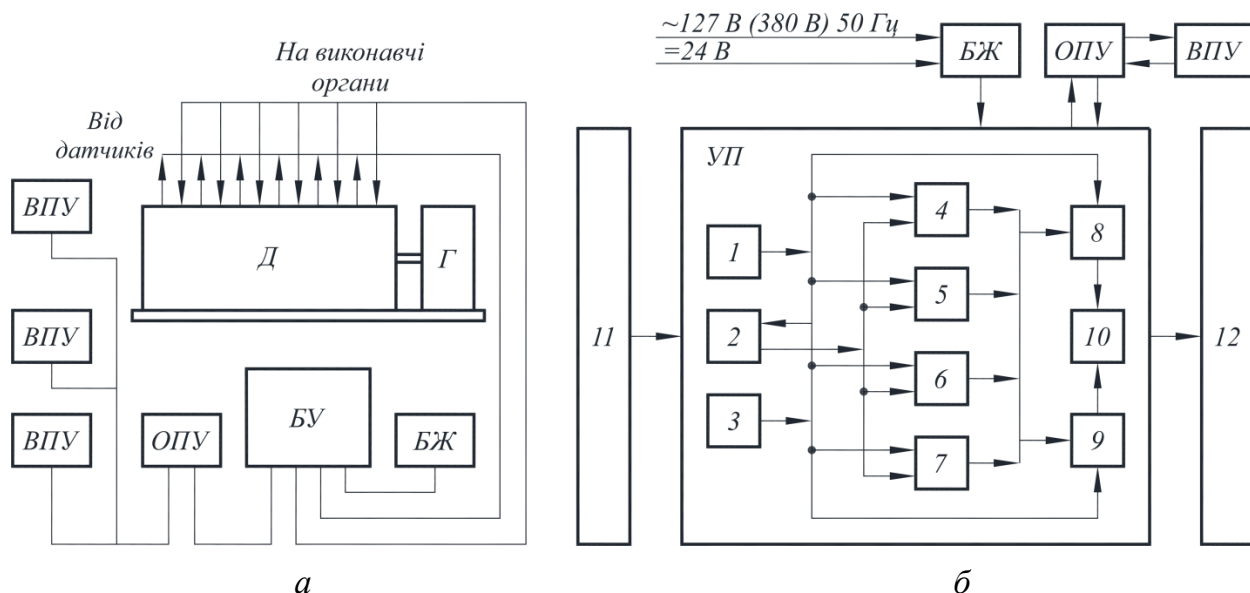


Рис. 1 – Функціональна (а) та структурна (б) схеми системи ДАК "СДГ-Т"

Система ДАК "СДГ-Т" конструктивно складається з наступних блоків (рис. 1, а, б): блоку керування БЦ управляючого пристрою УП, основного пульта керування ОПУ, виносного пульта керування ВПУ блоку живлення БЖ. Усі блоки, крім ВПУ, встановлюють у машинному відділенні біля керованого дизель-генератора. На ОПУ розташовані органи керування системою та табло світлової сигналізації (рис. 2). Виносний пульт ВПУ (рис. 3) дублює основний і містить меншу кількість органів керування та світлових табло, ніж ОПУ. Перемикання постів керування здійснюється тумблером, розташованим на ОПУ. Блок живлення забезпечує зниження живлення з 380 або 127 до 28 В. У пристрій керування (див. рис. 1, б) входять логічні функціональні блоки, вихідні пристрої 10, комутаційні елементи для прийому сигналів з пультів ОПУ і ВПУ, видачі сигналів на виконавчі органи, на електростанцію і в центральний

пульт керування. Логічна частина пристрою керування включає наступні дев'ять функціональних знімних блоків (див. рис. 1, б): 1, 3 – стабілізованого живлення; 2 – контролю часу; 4 – пуску; 5 – зупинки; 6 – елементів, що не відключаються; 7 – аварійного захисту; 8, 9 – підсилювачів.

Блоки стабілізованого живлення забезпечують стабільну вихідну напругу (12-13 В) при коливаннях первинної напруги в межах 18-30 В. Схема живлення дозволяє відключити живлення більшої частини логічних елементів і вихідних реле при нормальній роботі ДГ.

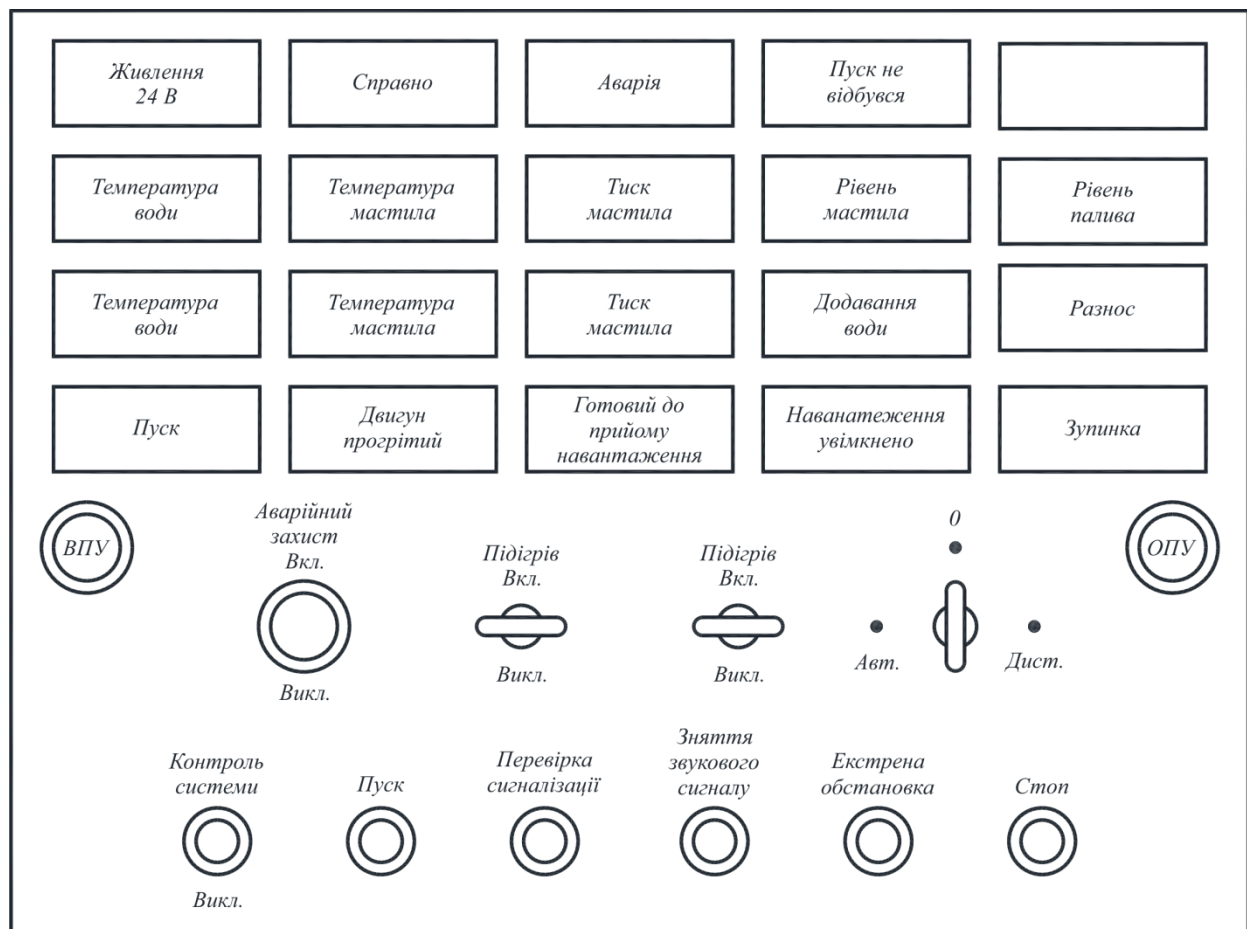


Рис. 2 – Табло світлової сигналізації на основному пульті ОПУ

Блок контролю часу забезпечує тимчасові затримки, які у системі контролю тривалості різних операцій із пуску чи зупинці ДГ.

Блок пуску здійснює передпускове провертання дизеля, прокачування його мастилом, пуск, прогрів, виведення двигуна на підсинхронну частоту обертання, прийом навантаження, а також забезпечує сигналізацію про пуск, готовність до прийому навантаження, прийом навантаження.

Блок зупинки здійснює відключення навантаження, зниження частоти обертання, охолодження при холостому ході, відключення охолодження, зупинку дизеля та видачу необхідної сигналізації.

Блок невідключених елементів містить елементи логічної схеми системи ДАК "СДГ-Т", з яких не знімається живлення нормальної роботи дизеля. Цей блок при мимовільній зупинці дизеля збирає на своїх входах сигнали від датчиків тиску мастила при прокачуванні перед пуском, з блоку зупинки – про мимовільну зупинку, видає сигнали на включення живлення до блоків системи та на вхід пам'яті екстреної зупинки, забезпечуючи роботу схеми за програмою екстреної зупинки дизелі.

Блок аварійного захисту забезпечує зупинку дизеля при підвищенні температури прісної води в системі охолодження вище за допустиму, підвищення температури мастила в системі мастила вище за допустиму, падіння тиску мастила, падіння тиску або рівня води в системі охолодження, аварійну частоту обертання двигуна.

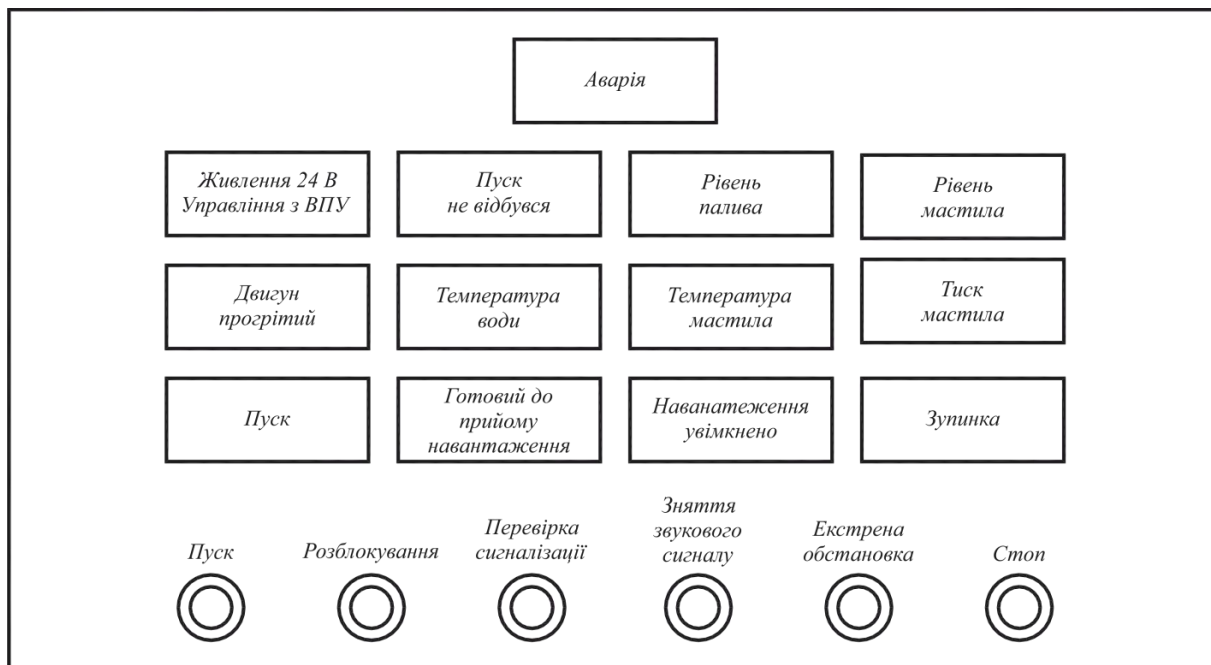


Рис. 3 – Табло світлової сигналізації на виносному пульті ВПУ

Блоки підсилювачів призначені для узгодження характеристик логічної частини системи ДАК "СДГ-Т" із виконавчими органами ДГ. Усі функціональні блоки, крім блоку стабілізованого живлення, виконані на безконтактних логічних елементах.

Датчики 11 (див. рис. 1, б), встановлені на дизелі та його системах, контролюють основні параметри (тиск і температуру мастила в системі мастила, тиск, рівень води і її температуру в системі охолодження, частоту обертання валу дизеля) і видають сигнали у схему системи відповідно до прийнятого алгоритму та необхідних значень цих параметрів.

Виконавчі органи 12 (див. рис. 1, б) безпосередньо впливають на органи керування дизелем – електромагнітні клапани, насоси).

У режимах роботи (у режимі попереднього підігріву або при роботі ДГ під навантаженням) система ДАК "СДГ-Т" допускає короткочасну перерву живлення; передбачена схема автоматичного перемикавання на резервну мережу постійного струму напругою 24 В при зникненні напруги в основній мережі 127/380 В, частотою 50 Гц (див. рис. 1, б).

Справність роботи "СДГ-Т" перевіряють за допомогою спеціальної системи, яка виконує алгоритм пуску та зупинки дизеля; у своїй виконавчі органи дизеля шунтуються контактами реле цієї системи.

Блоки системи ДАК "СДГ-Т", побудовані на логічних елементах, включають ряд схем, кожна з яких виконує певну логічну функцію. Реалізація функцій відбувається одночасно (паралельно), тому блоки та систему "СДГ-Т" загалом можна віднести до логічних мереж керування.

Для керування автоматизованими ДГ на щиті керування СЕЕУ в ЦПУ для кожного дизель-генератора передбачені ключ вибору режиму роботи «Резерв – робота», кнопки «Пуск», «Стоп», «Екстрений стоп», «Розблокування» після пуску, що не відбувся, ключ керування частотою обертання «Більше-менше», сигнальне табло аварійно-попереджувальної та виконавчої сигналізації.

Для аварійної сигналізації в ЦПУ винесені табло "Аварійна зупинка", "Аварійний тиск мастила", "Запуск, що не відбувся", для попереджувальної – "Тиск мастила", "Рівень мастила", "Температура мастила", "Температура води" для виконавчої – "Живлення 24 В", "Двигун прогрітий", "Готовий до прийому навантаження", "Пуск", "Зупинка".

Передбачені на щиті керування в ЦПУ органи керування та сигналізації дозволяють виконати всі операції автоматичного та дистанційного керування дизель-генератором [5].

Висновок. В роботі проаналізовано функціональну та структурну схеми системи дистанційного автоматизованого керування (ДАК) дизель-генераторами. Її уніфікована структура враховує особливості тропічного виконання "СДГ-Т". Розглянуто табло світлової сигналізації як для основного (ОПУ), так і для виносного (ВПУ) пульта керування. Системами ДАК цих дизель-генераторів передбачається автоматизація наступних операцій: підтримка дизеля у прогрітому стані, введення в дію, керування у процесі роботи за призначенням, виведення з дії, контроль та захист. Введення в дію, синхронізація, переведення навантаження та зупинка дизель-генератора здійснюються за допомогою спеціального автоматичного керуючого пристрою (автоматичне керування) або дистанційно-оператором (дистанційне керування).

Л і т е р а т у р а

1. Вагущенко Л.Л., Кошовий А.А. Автоматизовані системи судноводіння. Київ: КВІЦ, 2020. 292 с.
2. Виноградов А.О. Автоматичне регулювання частоти суднових дизельних і газотурбінних установок. Одеса: ОНМА, 2004. 88 с.
3. Попович М.Г., Лозинський О.Ю. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Київ: Либідь, 2005. 680 с.
4. Голіков С.П., Чорний С.Г., Жук Д.О., Івановський М.В. Суднові електричні станції. Частина 1. Київ: Кондор, 2013. 198 с.
5. Michalopoulos, P., Tsekouras, G.J., Kanellos, F.D., Prousalidis, J.M. Optimal Selection of the Diesel Generators Supplying a Ship Electric Power System. Applied Sciences: MDPI, 2022, 12, 10463. <https://doi.org/10.3390/app122010463>

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

Хилько І.І. – старший викладач, hilko@mnaeu.edu.ua
Зерницька К.О. – здобувач вищої освіти, kristina_zernitskaya@ukr.net
Миколаївський національний аграрний університет
Україна, м. Миколаїв

APPLICATION OF ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS FOR OPTIMIZATION OF ENTERPRISE COSTS IN CONDITIONS OF ECONOMIC INSTABILITY

Khylko I.I. – Senior Lecturer, hilko@mnaeu.edu.ua
Zernytska K.O. – higher education student, kristina_zernitskaya@ukr.net
Mykolaiv National Agrarian University
Ukraine, Mykolaiv

Abstract. *In today's conditions of economic uncertainty, enterprises are faced with the need to constantly optimize costs to ensure their competitiveness and stability in the market. Economic-mathematical models are a powerful tool for analysis, planning and optimization of enterprise resources, which allows to increase the efficiency of activities in unstable market conditions. The work examines in detail the main types of economic and mathematical models that allow taking into account uncertainty factors and risks. On the basis of practical examples, the effectiveness of using mathematical models to reduce costs and improve the economic results of activities is shown.*

Keywords: *costs, optimization of costs, linear programming, competitiveness of enterprises, economic and mathematical models, cost management*

Актуальність дослідження зумовлена нестабільністю ринку, що була викликана змінами в глобальній економіці, політичними кризами, пандеміями та іншими факторами. Це спричиняє збільшення рівня невизначеності для підприємств. У таких умовах витрати підприємства повинні бути ретельно сплановані й оптимізовані для того, щоб не лише мінімізувати ризики, але й зберегти прибутковість та конкурентоспроможність. Висока конкуренція, зростання цін на ресурси та нестабільні ринкові умови змушують підприємства шукати ефективні методи управління витратами, що забезпечують гнучкість і стійкість бізнесу. Економіко-математичні моделі дозволяють не лише аналізувати існуючі витрати, але й прогнозувати їх на основі можливих змін ринку, що є особливо важливим у кризових ситуаціях.

Метою роботи є дослідження економіко-математичних моделей для оптимізації витрат підприємства та розробка рекомендацій щодо їх застосування в умовах нестабільного ринку.

Економіко-математичні моделі – це набір математичних інструментів, які дозволяють підприємствам аналізувати й оптимізувати різні аспекти своєї діяльності. У контексті управління витратами ці моделі допомагають мінімізувати витрати на виробництво, логістику, фінансові операції тощо [1].

Нестабільний ринок характеризується високим ступенем невизначеності. Основними викликами для підприємства є:

- коливання попиту, коли споживацька поведінка може змінюватись під впливом економічних криз, політичної нестабільності або змін у смаках і вподобаннях;
- коливання цін на ресурси, коли нестабільність на ринку може спричиняти значні коливання у цінах на сировину, енергоносії, логістичні послуги;
- інфляційні процеси та валютні коливання, коли фінансові показники підприємства можуть бути значно змінені через девальвацію національної валюти чи інфляційні процеси;
- конкуренція та ринкові бар'єри.

Серед найпоширеніших методів економіко-математичного моделювання для оптимізації витрат підприємства можна виділити лінійне програмування, моделі теорії ігор, моделі витрат-обсягу-прибутку (CVP-аналіз) та методи оптимізації запасів [2].

Лінійне програмування є одним із основних методів математичного моделювання, що використовується для оптимізації витрат. Лінійне програмування застосовується у випадках, коли підприємство має кілька варіантів використання ресурсів і повинно знайти найкращий спосіб їх розподілу з урахуванням обмежень. Формулювання задачі лінійного програмування включає функцію, яку необхідно мінімізувати (наприклад, загальні витрати), і набір обмежень (наприклад, наявні ресурси, виробничі потужності). Це дозволяє підприємству визначити оптимальну стратегію для мінімізації витрат.

Припустимо, що підприємство виробляє два види продукції, які потребують різних ресурсів (сировини, праці тощо). Лінійне програмування дозволяє визначити, яку кількість кожного виду продукції слід виробляти, щоб загальні витрати були мінімальними при збереженні певних обсягів виробництва [3].

У випадках, коли функції витрат або обмеження мають нелінійний характер, використовуються методи нелінійного програмування. Ці моделі є розширенням лінійного програмування для більш складних моделей, де функції витрат або обмеження мають нелінійний характер. Методи нелінійного програмування використовуються в тих випадках, коли витрати підприємства залежать від обсягів виробництва нелінійно, наприклад, через масштаби

виробництва або економію на ресурсах. Хоча нелінійне програмування є складнішим для реалізації, але його застосування дозволяє точніше враховувати динамічні зміни в ринкових умовах і структурі витрат [2].

Аналіз чутливості є додатковим інструментом, який дозволяє досліджувати, як зміна вхідних даних вплине на оптимальне рішення. У нестабільних ринкових умовах, коли ціни на сировину або інші витрати можуть суттєво змінюватися, аналіз чутливості дозволяє оцінити, наскільки гнучкою є обрана стратегія [1].

Моделі витрат-обсягу-прибутку (CVP) дозволяють підприємствам оцінювати взаємозв'язок між обсягами виробництва, витратами та прибутком. Вони використовуються для визначення точки беззбитковості, тобто такого обсягу виробництва, при якому доходи підприємства дорівнюють його витратам. CVP-аналіз є особливо корисним для підприємств, які працюють в умовах високої конкуренції або нестабільних цін на ринку, оскільки він допомагає оперативно реагувати на зміни у витратах та ціновій політиці [3].

Методи оптимізації запасів є критично важливими для підприємств, що працюють у складних ринкових умовах, оскільки надмірне зберігання запасів може призвести до значних витрат, тоді як недостатні запаси можуть негативно вплинути на виробничі процеси. Економіко-математичні моделі, такі як модель EOQ (економічно оптимальний розмір замовлення) та моделі управління запасами з перериванням, дозволяють підприємствам оптимізувати свої запаси та забезпечити безперебійну роботу виробництва [2].

Сучасні цифрові технології, такі як штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання, дозволяють підприємствам будувати прогнозні моделі витрат з урахуванням багатьох чинників. Використання великих масивів даних і сучасних алгоритмів машинного навчання дає можливість підприємствам отримувати точні прогнози щодо зміни витрат, а також оперативно адаптувати стратегії оптимізації до нових ринкових умов. ШІ можна використовувати для аналізу історичних даних щодо витрат на виробництво та прогнозування їх зміни залежно від коливань цін на ринку сировини. Це допоможе підприємствам розробляти гнучкі стратегії закупівель та виробництва, що забезпечують мінімізацію витрат у мінливих умовах ринку [3].

Висновок. Підводячи підсумки, можна сказати, що застосування економіко-математичних моделей для оптимізації витрат є ефективним інструментом для підприємств, що працюють в умовах нестабільного ринку [4]. Лінійне програмування, нелінійні моделі, аналіз чутливості та сучасні технології штучного інтелекту дозволяють не лише мінімізувати витрати, але й адаптувати бізнес до змінних ринкових умов. Оптимізація витрат за допомогою

таких моделей підвищує конкурентоспроможність підприємства, зменшує ризики та сприяє досягненню довгострокової фінансової стійкості.

Л і т е р а т у р а

1. Скорук О.В. Ефективність економіко-математичного моделювання в оптимізації бізнес-процесів. Економіка та суспільство. № 57. 2023. URL: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/3134%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-3043-1-10-20231214.pdf> (дата звернення 11.10.2024).

2. Мороз О.В. Напрями оптимізації витрат в системі управління підприємством. Наука сьогодення: від досліджень до стратегічних рішень. № 20. 2023. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conferenceproceedings/article/view/378/380> (дата звернення 11.10.2024).

3. Верланов Ю.Ю., Бурлан С.А., Верланов О.Ю. Аналіз взаємозв'язку витрат, обсягу діяльності та прибутку. Управлінський облік: сучасна теорія і практика. с 100-127. 2022. URL: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/357/8.pdf> (дата звернення 11.10.2024).

4. Хилько І.І. Мінімізація витрат аграрного виробництва методами економіко-математичного моделювання. Сучасна наука: інновації та перспективи : матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців, 06-07 квітня 2023 р., Київ : Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, 2023. С. 387-390. URL: https://files.duit.edu.ua/uploads/%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%82/3_%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%90/conferences/international-scientific-and-practical-conferences/modern-science-innovations-and-perspectives.pdf (дата звернення 11.10.2024).

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ РЕЙКОВИХ КІЛ

Шаповалов Р.Ю. – магістрант, *shapovalov_riy@gsuite.duit.edu.ua*

Герцій О.А. – к.т.н., доцент, *gertsy_oa@gsuite.duit.edu.ua*

Київський інститут залізничного транспорту

Державного університету інфраструктури та технологій

Україна, м. Київ

MICROPROCESSOR SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL OF RAIL WHEEL PARAMETERS

Shapovalov R.Yu. – master's student, *shapovalov_riy@gsuite.duit.edu.ua*

Gertsy O.A. – Ph.D., Associate Professor, *gertsy_oa@gsuite.duit.edu.ua*

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper analyzes the systems for monitoring the parameters of rail circuits. Existing rail control systems for safe and efficient train movement are considered by monitoring the condition of the track and the parameters of the rail circuits. One of the most common approaches is the use of rail circuits that operate as closed electrical circuits. Based on changes in circuit parameters, such as resistance and current, the system can identify the occupancy of the section and possible faults. Track control systems also include ultrasonic and vibration methods, which are used to detect mechanical defects in the rail structure.*

Keywords: *rail circuits, automated control system, circuit parameters, fault detection*

Актуальність дослідження зумовлена потребою забезпечення безпеки залізничного транспорту шляхом підвищення ефективності контролю параметрів рейкових кіл, які є важливими елементами систем сигналізації, централізації та блокування. Збільшення обсягів перевезень, інтеграція сучасних технологій у транспортну інфраструктуру, а також необхідність мінімізації аварійних ситуацій вимагають впровадження надійних і точних систем моніторингу рейкових кіл. Удосконалення методів діагностики дозволяє своєчасно виявляти несправності, оптимізувати технічне обслуговування та продовжувати термін експлуатації залізничної інфраструктури.

Метою роботи є дослідження мікропроцесорної системи для моніторингу та контролю параметрів рейкових кіл, яка забезпечує підвищення точності вимірювання, зниження часу реакції на виявлення несправностей, а також інтеграцію автоматизованих засобів аналізу і регулювання. Досягнення цієї мети передбачає створення математичної моделі рейкового кола, розробку функціональної та структурної схем системи, а також дослідження алгоритмів її роботи для реалізації заданих функціональних характеристик

Існують сучасні цифрові системи контролю рейкових колій, які використовують мікропроцесорні та комп'ютерні технології для аналізу параметрів та діагностики стану рейок. Такі системи включають датчики, які постійно вимірюють опір, індуктивність та інші параметри колії, а також передають дані на центральні комп'ютери для подальшої обробки. Датчики часто розміщуються на самих рейках або поблизу від них, що дозволяє отримувати точну інформацію про стан колії в реальному часі [1]. Системи на базі мікропроцесорів забезпечують можливість швидкого реагування на зміну параметрів колії та дозволяють операторам залізниць приймати своєчасні заходи для запобігання аварійним ситуаціям.

Розробка функціональної схеми вимірювання параметрів рейкових кіл ґрунтується на визначенні основних етапів вимірювання, передачі, обробки і контролю даних, що забезпечують точну та ефективну роботу системи контролю рейкових колій. На першому етапі було досліджено вимоги до вимірювальних параметрів, таких як напруга, струм, частота, імпеданс та опір, зважаючи на специфіку роботи рейкових кіл. На основі цих вимог розроблено функціональну схему, яка складається з декількох взаємозалежних блоків, що відповідають за конкретні функції вимірювання та обробки сигналів.

Центральним компонентом функціональної схеми є мікропроцесорний блок, що здійснює подальшу обробку і аналіз даних, отриманих від системи датчиків. Мікропроцесор відповідає за інтерпретацію сигналів, проведення математичного аналізу та передачу результатів на блок комунікації або інтерфейс користувача. Він забезпечує реалізацію алгоритмів контролю рейкових кіл та розрахунків необхідних параметрів, таких як індуктивність, ємність і опір у режимах нормальної та аварійної роботи. Мікропроцесор також контролює самодіагностику системи та формує звіти про поточний стан рейкових кіл.

Для реалізації системи контролю параметрів рейкових кіл було обрано мікропроцесор STM32, що заснований на архітектурі ARM Cortex-M, та платформу розробки STM32CubeIDE.

Однією з причин вибору STM32 є підтримка великої кількості комунікаційних інтерфейсів, таких як CAN, Ethernet, UART, що забезпечує легку інтеграцію з іншими елементами залізничної інфраструктури та передачу даних у центральні системи обробки [3]. Це дозволяє будувати модульні системи з можливістю оновлення та масштабування. Підтримка інтерфейсу Ethernet, зокрема, забезпечує можливість передавати дані у реальному часі на значні відстані без значних втрат, що є важливим для централізованого моніторингу стану колій.

Використання STM32 та STM32CubeIDE для розробки системи контролю рейкових кіл дозволяє створити ефективну та надійну систему, що забезпечує обробку даних в реальному часі, підтримує роботу з різними датчиками та модулями, а також дозволяє здійснювати обмін даними між різними елементами системи моніторингу та центральним пунктом контролю.

Алгоритм контролю і регулювання системи моніторингу параметрів рейкових кіл включає кілька етапів, які забезпечують точне визначення стану колій та своєчасне регулювання їх параметрів [2]. Алгоритм базується на послідовній обробці даних, отриманих з датчиків, їх аналізі та прийнятті відповідних рішень. Першим етапом є збирання даних за допомогою встановлених на колії датчиків, які вимірюють параметри, такі як опір, напруга, частота і струм. Дані з датчиків передаються у блок попередньої обробки, де відбувається їх фільтрація для усунення перешкод та шумів, що могли б вплинути на точність вимірювань.

Після попередньої обробки дані надходять до центрального обчислювального блоку, де вони аналізуються з використанням алгоритмів, які враховують допустимі діапазони значень для кожного параметра. Якщо отримані значення не відповідають нормативним, система фіксує такі відхилення та передає відповідні сигнали до модулів регулювання. На основі цих сигналів у системі відбувається оцінка ступеня та природи відхилень параметрів, що дозволяє точно ідентифікувати місця потенційних проблем або несправностей у рейкових коліях.

Подальший етап передбачає активацію алгоритмів регулювання, що коригують параметри за допомогою налаштування обладнання, яке встановлене на коліях, або змінюючи параметри вхідних сигналів. У випадку, якщо відхилення можуть бути усунуті автоматично, система вносить відповідні корективи в роботу колії. Якщо ж автоматичне коригування неможливе, система направляє інформацію про несправність на віддалений сервер для подальшого аналізу фахівцями, які зможуть вирішити проблему вручну.

Висновок. В результаті проведеного аналізу, було розроблено концепцію мікропроцесорної системи моніторингу та контролю рейкових кіл, яка включає математичний опис процесів, функціональну схему вимірювання, алгоритми контролю та регулювання, а також структурну реалізацію локальних і центральних підсистем. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованої системи для забезпечення стабільності роботи рейкових кіл, підвищення безпеки руху та оптимізації технічного обслуговування.

Л і т е р а т у р а

1. Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Є.А. Станційні пристрої автоматики й телемеханіки. К.: Транспорт України, 1994, 430 с.
2. Бабаєв М.М., Блиндюк В.С., Супрун О.Д. Проектування систем електропостачання залізниць: Навч. посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
3. Басов В.І., Єлісєєв В.В., Петренко О.В., Бойнік А.Б., Радковський С.О. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У: Навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. К.: Макрос, 2014. 318с.

РОЗРОБЛЕННЯ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ РАМИ ВІЗКА ТЕПЛОВОЗА 2TE116

Шпак В.В. – магістрант, vladshpak95@gmail.com

Прокопенко П.М. – д.ф., старший викладач, prokopenko_pm@gsuite.duit.edu.ua

*Київський інститут залізничного транспорту Державного університету
інфраструктури та технологій*

Україна, м. Київ

DEVELOPMENT OF THE FINITE ELEMENT MODEL OF THE 2TE116 LOGO CARRIAGE FRAME

Shpak V.V. – master's student, vladshpak95@gmail.com

Prokopenko P.M. – PhD, senior teacher, prokopenko_pm@gsuite.duit.edu.ua

*Kyiv Institute of Railway Transport State University of Infrastructure and Technologie
Ukraine, Kyiv*

Abstract. The paper includes the development of a finite-element model of the bogie frame and the construction of a 3D model in the SolidWorks software complex. During the construction of the 3D model of the bogie frame, the design elements were taken into account. This will make it possible to study the forces acting on the load-bearing structures of diesel locomotive bogies to study the possibility of operating traction rolling stock outside the designated period. This will contribute to ensuring transportation and obtaining an economic effect, since the functioning of the transport industry, in which railway transport occupies a significant share of transportation, largely determines the development of the state's economy.

Keywords: finite-element mode, bogie frame, 3D model, diesel locomotive, 2TE116.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що функціонування транспортної галузі, в якій залізничний транспорт займає значну частку перевезень значною мірою зумовлює розвиток економіки держави. Для забезпечення перевезення та одержання економічного ефекту можливо експлуатувати тяговий рухомий склад поза призначеним терміном. Така можливість зокрема залежить від якості основних несучих конструкцій локомотивів.

Метою роботи є розроблення кінцево-елементної моделі рами візка та побудова 3D-моделі у програмному комплексі SolidWorks для подальшого дослідження та проведення розрахунку на міцність, оцінки сил, які діють на металеві несучі конструкції візків тепловозу серії 2TE116, що дозволить проводити ходові міцнісні випробування та дасть можливість удосконалити експлуатаційні показники та продовжити строк служби експлуатації тепловозу.

Для побудови кінцево-елементної моделі рами візка та конструкційних елементів тепловоза 2TE116 за конструкторською документацією з

урахуванням положень існуючих нормативних документів [1] розроблено відповідну 3D-модель у програмному комплексі SolidWorks що показано на рисунку 1. SolidWorks, є системою комп'ютерно - автоматизованого проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва різної складності та призначення [2].

При побудові 3D-моделі рами візка були враховані елементи конструкції, які призначені для передачі та розподілення вертикального навантаження, сприймання та передачі на раму кузова тягового зусилля, гальмівної сили, а також сприймання бокових горизонтальних й вертикальних сил, що діють від колісних пар.

За своєю технічною конструкцією тривісні візки тепловоза є однакові за конструкцією, з індивідуальним приводом колісних пар. Кожна рама візка складається з двох повздовжніх боковин, поєднаних між собою переднім та заднім кінцевими балками і шворневою балкою. Боковини й кінцеві балки коробчастого типу виконані зварюванням із чотирьох листів прокатної сталі Ст3 [3,4].

Після того, як було побудовано твердотілу модель, для проведення розрахунків на міцність розробили КЕ-модель рами візка. Для цього будується сітка вузлів та елементів. Генерація сітки елементів і вузлів складається з основних етапів: а) задання атрибутів і виду елементів та координатної системи; б) оптимізація сітки – встановлення режиму контролю над її побудовою.

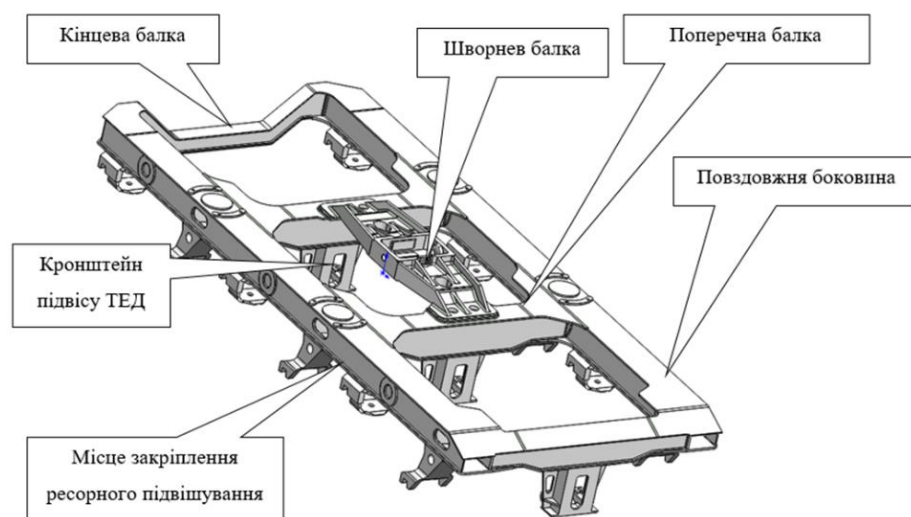


Рисунок 1 – 3D-модель рами візка тепловоза 2TE116

Параметри КЕ-моделі: сітка на основі кривизни, максимальний розмір елемента – 20 мм, мінімальний розмір елемента – 4 мм, якість сітки – висока, кількість вузлів – 1982892, кількість елементів – 1160625. Такий вибір розмірів

елементів виконувався з розрахунку геометричних особливостей конструкції. КЕ модель наведено на рисунку 2.

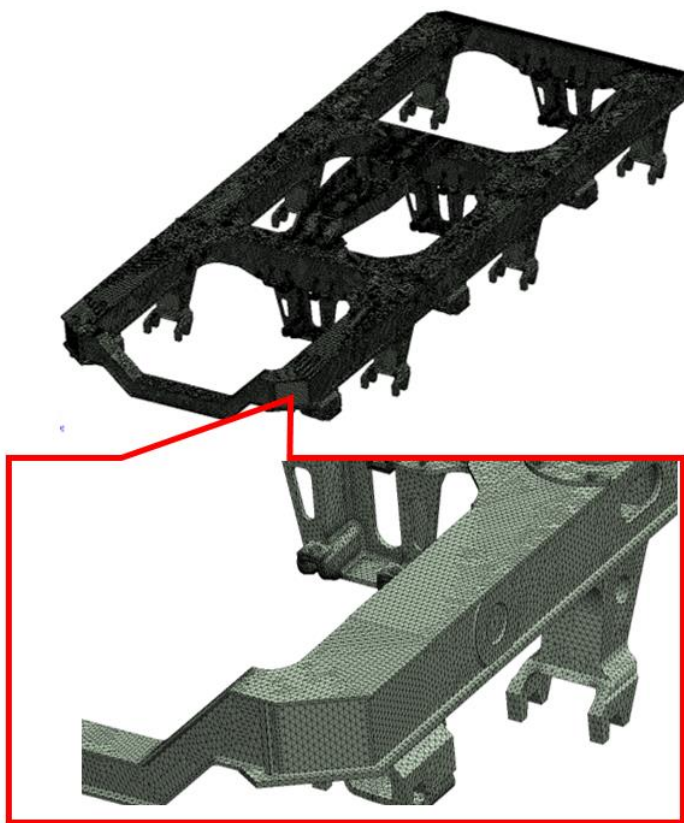


Рисунок 2 – КЕ-модель рами візка (максимальний розмір елемента – 20 мм)

Управління обчислювальними операціями виконується згідно розрахункової сітки досліджуваної моделі в SolidWorks. Вона створюється автоматично в області твердого тіла. Результати досліджень відображаються у вікні SolidWorks, включаючи вектори, ізолінії та кольорові епюри.

Висновок. Для можливості дослідження та проведення розрахунку на міцність, оцінки впливу сил, що діють на металеві несучі конструкції візків тепловозу за конструкторською документацією розроблено кінцево-елементну модель рами візка тепловоза 2ТЕ116 в системі автоматизованого проектування і розрахунку – SolidWorks. Одержані чисельні результати дозволять проводити ходові міцнісні випробування, що дасть можливість удосконалити несучі елементи рами візків та продовжити строк служби експлуатації тепловозу.

Л і т е р а т у р а

1. Положення про організацію робіт щодо продовження призначеного терміну служби тягового рухомого складу Укрзалізниці (рам візків, головних рам кузовів і несучих кузовів) : ВНД 32.007.123-03. Київ: Міністерство транспорту України. 2002. 15 с. (Нормативний документ Мінтранс України).

2. Ворожук В.Я., & Вітенько Т.М. (2023). *Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі Solidworks*: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А. 164 с

3. Черняк А.Ю., Гриндей Е.О., & Гриндей П.А. (2010). Модальний аналіз та втомна довговічність рам візків тягового рухомого складу. *Локомотив інформ.* № 11. 4-7 с.
4. Тартаковський Е.Д., Агулов А.Ф., & Фалендиш А.П. (2009). *Теорія та конструкція локомотивів. Ч.2. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: Навч. посібник.* Харків: УкрДАЗТ, 150 с.

ГРЕБНІ ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ З КЕРОВАНИМИ ВИПРЯМЛЯЧАМИ

Щербина В.В. – бакалаврант, volodusla@gmail.com
Кириченко О.С. – к.т.н., доцент, oskyrychenko@gmail.com
Київський інститут водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Державного університету інфраструктури та технологій
Україна, м. Київ

ROWING ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH CONTROLLED RECTIFIERS

Shcherbyna V.V. – bachelor's student, volodusla@gmail.com
Kyrychenko O.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
oskyrychenko@gmail.com
Kyiv Institute of Water Transport
named after Hetman Peter Konashevich-Sagaidachny
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The paper analyzes rowing electric installations with controlled rectifiers. Rowing electric units with controlled rectifiers differ in that the rowing electric motor of such units is connected to the output of a three-phase bridge converter assembled on a semiconductor element base. In rowing electric units with controlled rectifiers, the rowing electric motor can be powered both from an autonomous synchronous generator and from busbars of power plants. An example of a circuit of a rowing electric installation with controlled rectifiers of a single ship power plant powered by conductive busbars is considered. The basic controlled rectifier circuit in such systems is a bridge circuit.*

Keywords: *rowing electric installations, the double genus of the current, controlled rectifiers, synchronous generator, speed control, rowing electric motor*

Актуальність дослідження пов'язана з широким застосуванням в гребних електричних установках (ГЕУ) пристроїв напівпровідникової перетворювальної техніки. Перетворення електричної енергії може здійснюватися як електромеханічними (динамічними), наприклад, електромашинними перетворювачами, так і електронними (статичними) перетворювачами [1]. Напівпровідникові прилади та елементи мікроелектроніки мають значні переваги, до яких відносять малі габарити, швидкодію, чутливість, надійність, економічність та широкі можливості перетворення інформації. Напівпровідникові перетворювачі електричної енергії призначені для перетворення таких параметрів електричної енергії, як напруга, частота, число фаз, форма напруги та струму. Сучасна перетворювальна техніка ґрунтується на застосуванні напівпровідникових приладів.

Метою роботи є аналіз гребної електричної установки подвійного струму з керованим випрямлячем для регулювання швидкості гребного електродвигуна.

ГЕУ з керованими випрямлячами (рис. 1) відрізняються тим, що гребний електродвигун таких установок підключається на вихід трифазного мостового перетворювача зібраного на тиристорах. В ГЕУ з керованими випрямлячами живлення гребного електродвигуна може здійснюватися як від автономного синхронного генератора, так і від збірних шин електростанцій.

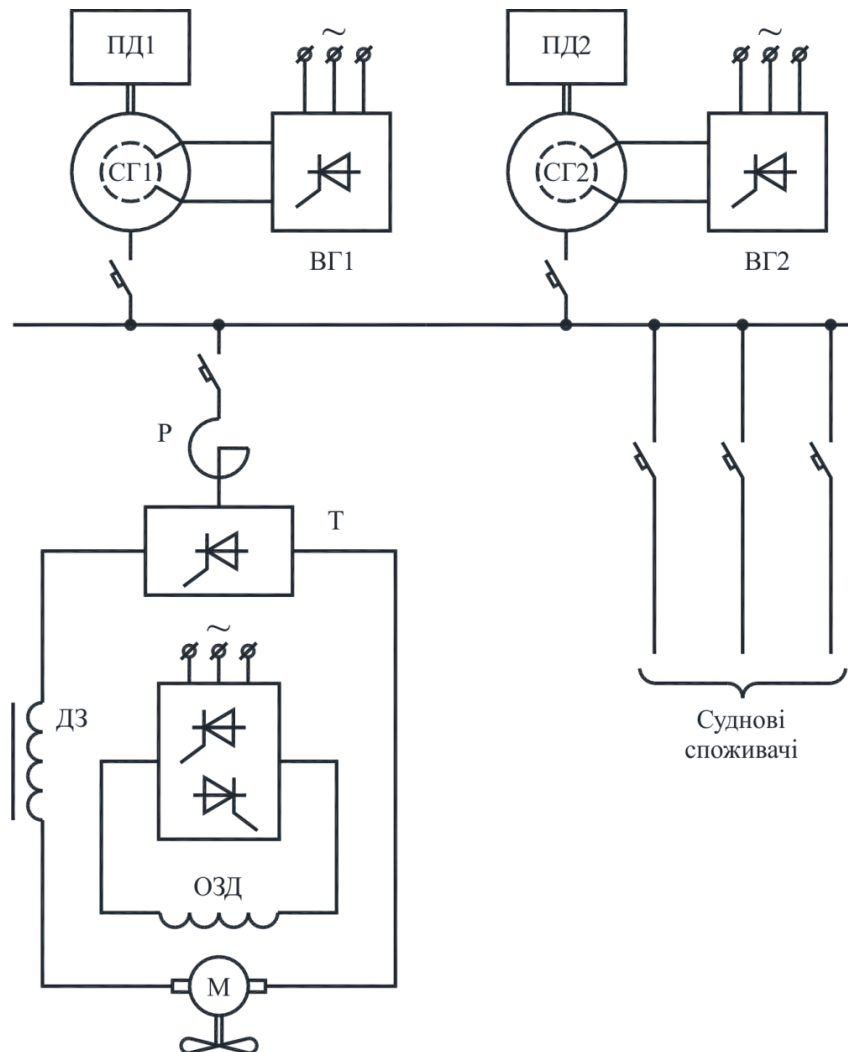


*Рис. 1 – ГЕУ подвійного роду струму з керованими випрямлячами:
 ПД1, ПД2 – первинні приводні двигуни; СГ1, СГ2 – синхронні генератори;
 ВГ1, ВГ2 – випрямлячі головного струму; Р – анодний реактор; Т – трифазний
 мостовий перетворювач з тиристорами; ДЗ – згладжувальний дросель;
 ВД – ОЗД – обмотка збудження двигуна; М – гребний електричний двигун*

На невеликих судах, де потужність гребної установки порівняна з потужністю технологічного обладнання та періоди використання повної

потужності суднової електростанції та головних двигунів не збігаються, суднова електростанція може бути єдиною для ГЕУ та загально-суднових споживачів. В ГЕУ змінного струму [2], як і в ГЕУ постійного струму первинні двигуни обертаються з постійною швидкістю. Регулювання швидкості гребного двигуна здійснюється за рахунок зміни напруги, що підводиться шляхом зміни кута відкриття тиристорів випрямляча головного струму. Синхронні генератори при цьому можуть працювати з незмінною напругою, що забезпечує можливість відбору потужності до суднової мережі.

Реверсування гребного електродвигуна, як і у звичайних тиристорних електроприводах постійного струму, може здійснюватися зміною полярності на затискачах якоря за допомогою двох груп тиристорних випрямлячів. При проєктуванні ГЕУ подвійного роду струму необхідно враховувати, що випрямлячі в ланцюгу головного струму і струму збудження значно спотворюють синусоїдальний характер напруги суднової мережі. Складові несинусоїдальних струмів струми вищих гармонік не виробляють корисної роботи, а збільшують складову споживаної потужності, викликають додаткові втрати енергії у всьому ланцюгу і вимагають підвищення встановленої потужності генераторів. Навколо кабелю, по жилах якого протікають несинусоїдальні струми, утворюються високочастотні магнітні поля, які створюють перешкоди для роботи системи автоматики, радіонавігаційного обладнання та ін. З метою зменшення пульсації застосовують шести- і дванадцятифазні схеми випрямлення, а також анодні реактори і згладжувальні дроселі, а для уникнення коротких замикань через послідовно з'єднані вентиля випрямні мости включають на різні генератори або через трансформатори з двома вторинними обмотками.

Схема ГЕУ з керованими випрямлячами, що живиться від єдиної суднової електростанції (ЄСЕ) наведена на рис. 1. Основною схемою керованого випрямляча є мостова схема [3-5]. Потужні суднові керовані випрямлячі розраховані на значні струми та напруги, які можуть перевищити номінальні значення тиристора. Для зменшення зворотної напруги на кожному тиристорі застосовують їх послідовне з'єднання, а для зменшення струму через тиристор – паралельне. Для рівномірного розподілу зворотної напруги паралельно кожному з послідовно сполучених тиристорів включають резистор, опір якого одного порядку зі зворотним опором тиристора. Для вирівнювання струмів між паралельно включеними резисторами підбирають випрямлячі з однаковими прямими ділянками вольт-амперних характеристик або використовують резистори та індуктивні ділянки для примусового вирівнювання струму.

Висновок. В роботі проаналізовано гребні електричні установки подвійного струму з керованими випрямлячами для регулювання швидкості

гребного електродвигуна. Основною схемою керованого випрямляча на напівпровідниковій елементній базі є мостова схема. Регулювання швидкості гребного електродвигуна здійснюється за рахунок зміни напруги, що підводиться шляхом зміни кута відкриття тиристорів випрямляча головного струму. В порівнянні з ГЕУ постійного струму системи електроруху подвійного (змішаного) струму відрізняються кращими масогабаритними показниками генераторних

Л і т е р а т у р а

1. Харін В.М., Занько О.М., Декин Б.Г., Пісклов В.Т. Суднові машини, установки, пристрої та системи: підручник для вищих морських навчальних закладів. Одеса: Фенікс, 2010. 646 с.
2. Чекунов В.К. Проектування гребних електричних установок змінного струму. Миколаїв: НУК, 2012. 109 с.
3. Robert W. Erickson, Dragan Maksimović. Fundamentals of Power Electronics. Third Edition. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020. 1084 p.
4. Barry W Williams. Principles and Elements of Power Electronics. Glasgow: © Barry W Williams, 2005. 1432 p.
5. Power electronics handbook. Editor-in-chief Muhammad H. Rashid. San Diego: Academic Press, 2001. 895 p.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORECASTING FUEL CONSUMPTION AND GHG EMISSIONS FROM RAIL TRANSPORT

Bykova E.V. – Doctor of Technical Sciences, bicovaelena279@gmail.com

Vasiliev I.V. – Master Degree, vasiliev_irina@yahoo.com

Institute of Power Engineering, TUM

Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. *The paper describes the methodological approaches used to forecast diesel fuel consumption in rail transport in Moldova and GHG emissions assessment. Multiple regression is considered in 4 types with influencing variables: population, GDP, passenger turnover and freight turnover. The three-factor regression model showed the best results.*

Keywords: *fuel, emissions, forecast, rail transport.*

Relevance of the work. Forecasting of fuel consumption is carried out for the purpose of further assessment of GHG emissions taking into account the implementation of measures developed in government documents in the field of railway transport, as well as in general economic and environmental documents.

Research purpose. The purpose of the work is to describe the methodological approaches used to forecast diesel fuel consumption in rail transport in Moldova and GHG emissions assessment.

Documents with goals and measures to reduce fuel consumption and emissions
General economic

“Moldova Europeana-2030”, HG 315/17.11.2022 specifies targets for reducing emissions in transport (all types of transport) at the level of 100% (2016-2020), 64% (2025), 70% (2030),[1].

Environmental

1. National Determined Contribution (2022) specifies areas for reducing fuel consumption and emissions: a) improving road infrastructure and b) improving regulatory documents (without specific figures),[2].

2. The Law Emission Strategy by 2030 and Action Plan (HG 1470 of 30.12.2016) has the paragraph "Objective specific 2" with goal for the overall reduction of CO₂ in the transport sector: by 30% as an unconditional goal and by 40% as a conditional goal,[3].

Transport

The Land Transport Infrastructure Strategy HG 85 of 01.02.2009 was updated in HG 827 of 28.10.2013 and provides for a general measure - the restoration of the road and rail infrastructure,[4].

National cross-sectoral documents

The National Energy and Climate Plan (NECP) was developed during 2022-2023, is undergoing approval stages in 2024, and includes the rail transport sector.

The scenarios that were developed for it assume an increase in passenger and freight traffic in the future,[5]. They were used in forecasts and are described below.

Analysis of diesel fuel consumption in rail transport in 2022

Document HG 1470 of 30.12.2016 specifies an unconditional goal - to reduce fuel consumption in rail transport by 315 TJ by 2030 from the 1990 level.

The actual values of diesel fuel consumption according to fuel and energy balances (1990, 2022) with those planned in the above documents are compared in the table 1.

Table 1– Diesel fuel consumption by railways (actual 1990 and 2022, target by 2030)

TJ	1990, fact	2030, forecast	2022, fact
Right Bank	4349	4097	217
Left Bank	1096	1033	38
Moldova	5445	5130	255

Fuel consumption on rail transport in 2022 amounted to 217 (Right Bank region), 38 (Left Bank region), and a total of 255 TJ (Moldova), that is, in reality it became much less than reduction target.

The requirement of document HG 1470 dated 30.12.2016 was satisfied without taking any measures, due to the decrease in economic activity in rail transport.

Forecasts of fuel consumption are built depending on 4 drivers further.

Building forecasts of fuel consumption for rail transport

Forecast horizon: 2023-2040.

Initial data series

Data series consist of values fuel consumption from energy balances for the Right Bank region and restored values for the Left Bank (2000-2022), which were calculated as part of the inventory for 1990-2022.

Methodological approaches to forecasting

Multiple regression was used to build forecasts. Fuel consumption was considered as the resulting variable y , and 4 variables were considered as influencing variables:

- X_1 - population, thousands of people;
- X_2 - passenger turnover, million people-km;
- X_3 - freight turnover, million ton-km;
- X_4 - GDP, million \$.

Changes for variables $X_1 \div X_4$ were made based on forecasts of macroeconomic indicators, passenger turnover and freight turnover. Each of the drivers is described in more detail below.

1. Population

The first "driver" is the indicator of change in population X_1 in the forecast period. Population dynamics for 1990-2022 by region is given in the table 2.

Table 2 – Population size in the regions of the Republic of Moldova in 1990-2022, thousand persons

	Left bank	Right bank	Moldova
1990	731	3630.6	4361.6
2000	660	3643.5	4303.5
2010	522.5	3164.2	3686.7
2020	465.8	2643.7	3109.5
2021	463.6	2626.6	3090.2
2022	459.8	2603.8	3063.6

*) Sources: Annual Yearbooks,[6].

The average values of population decline over the past 5 years: (-35.4) for the Right Bank and (-1.8) thousand persons for the Left Bank. It is assumed that this trend will continue for 2025-2040.

2. Passenger turnover

The second "driver" for building forecasts using multiple regression is the X_2 indicator of passenger turnover in rail transport. Its values of the retrospective and prospective periods were analyzed below.

1) Data on passenger transportation in rail transport for 2000-2022 were used according to the Statistical Yearbooks for 2023, 2012 and 2007, figure 1.

2) Forecasts built in NECP-2023 for the period 2025-2040 according to the WEM and WPM scenarios show the same values of passenger traffic with growth in the future (up to 122 million passenger-km) compared to the current situation - 32 million passenger-km (2022), figure 2.

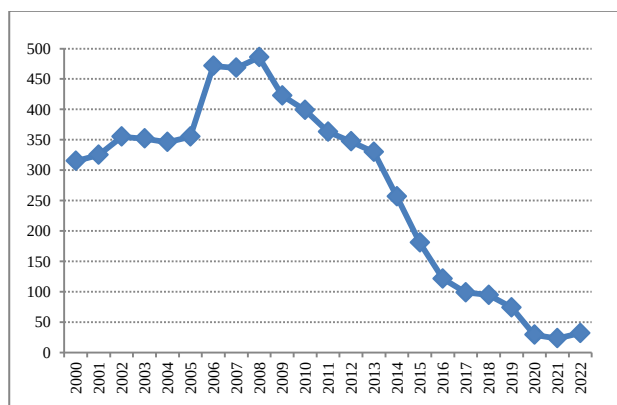


Figure 1– Passenger turnover of railways of the in Right Bank, million passenger - km

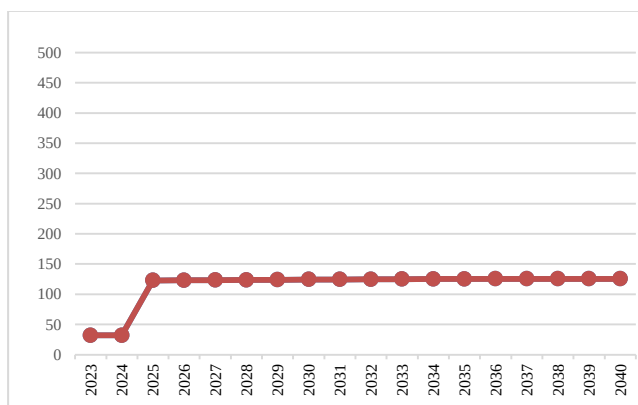


Figure 2– Forecast Passenger turnover of railways in Right Bank (WEM, WPM according to NECP), million passenger-km

3. Freight turnover

The third "driver" for constructing forecasts using multiple regression is the X_3 indicator of freight turnover in rail transport.

1) Data on freight turnover for 2000-2022 for the Right-Bank were used according to the Statistical Yearbooks for 2023, 2012 and 2007, figure 3.

2) WEM and WPM scenarios from NECP-2023 during 2025-2040 have trends in freight turnover values with a difference of approximately 3 times, figure 4.

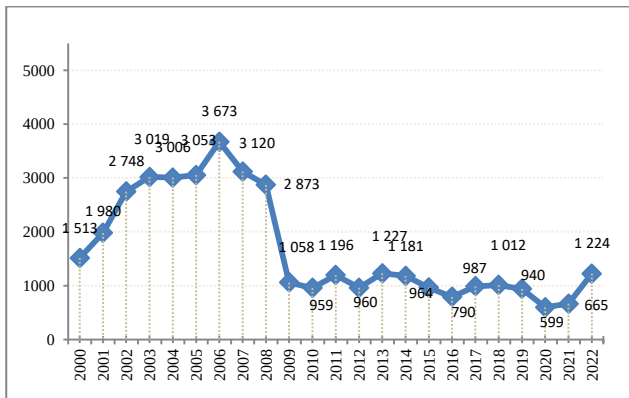


Figure 3– Freight turnover of the in Right Bank, million ton-km

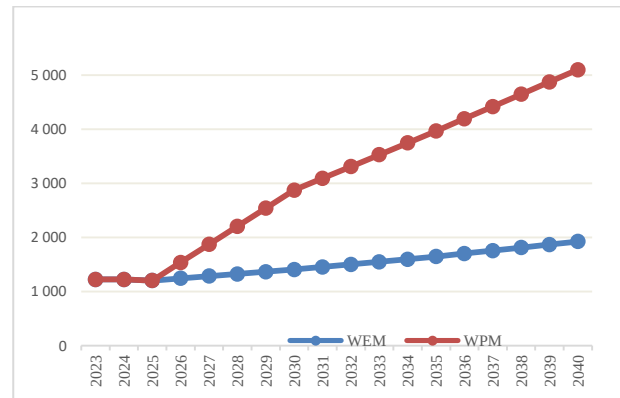


Figure 4 – Forecast of railway freight in Right Bank (WEM, WPM according to NECP), million ton-km

4. GDP

The fourth "driver" for building forecasts using multiple regression is X_4 - the country's GDP. NECP is the source of information on the forecast of GDP, table 3.

Table 3–GDP forecasts

		2016	2020	2025	2030	2035	2040
GDP, forecast NECP	milliard USD	9	10	13	16	20	24

Multiple regression for forecasting fuel consumption in rail transport

Multiple regression with 4 variables was used to build forecasts of diesel fuel consumption. The variables considered as drivers were: population (x_1), passenger turnover (x_2), freight turnover (x_3), GDP (x_4).

The quality of the obtained models is assessed by the coefficient of determination, table 5.

Table 5 – Coefficients of determination of regression models

Single-factor models		Two-factor models		Three-factor models		Four-factor models	
$y=f(x_k)$	R^2	$y=f(x_k, x_m)$	R^2	$y=f(x_k, x_m, x_p)$	R^2	$y=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$	R^2
$y=f(x_1)$	0,37	$y=f(x_1, x_2)$	0,53	$y=f(x_1, x_2, x_3)$	0,72	$y=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$	0,66
$y=f(x_2)$	0,5	$y=f(x_1, x_3)$	0,63	$y=f(x_1, x_2, x_4)$	0,53		
$y=f(x_3)$	0,63	$y=f(x_1, x_4)$	0,37	$y=f(x_1, x_3, x_4)$	0,64		
$y=f(x_4)$	0,36	$y=f(x_2, x_3)$	0,7				
		$y=f(x_2, x_4)$	0,51				
		$y=f(x_3, x_4)$	0,64				

The best coefficient of determination was obtained for a 3-factor regression model of the type $y = f(X_1, X_2, X_3)$ with $R^2 = 0.72$.

Fuel consumption according to the constructed forecast by 2040 will increase to 700 TJ for the country as a whole and to 750 TJ for individual forecasts by region, and the discrepancy is about 4%.

Assessment of greenhouse gas emissions

The final stage is the assessment of greenhouse gas emissions that may occur with the predicted fuel consumption. Emission factors for rail transport for CO₂, CH₄, N₂O are used according to the methodology of the IPCC-2006 guidelines. To recalculate the amount of each gas into CO₂ equivalent, global warming factors were used equal to: for CO₂ - 1, for CH₄ - 28, for N₂O - 265.

The emissions trend is analogous to the fuel consumption line, and is expected from 20 to 60 kt CO₂-e, figure 5.

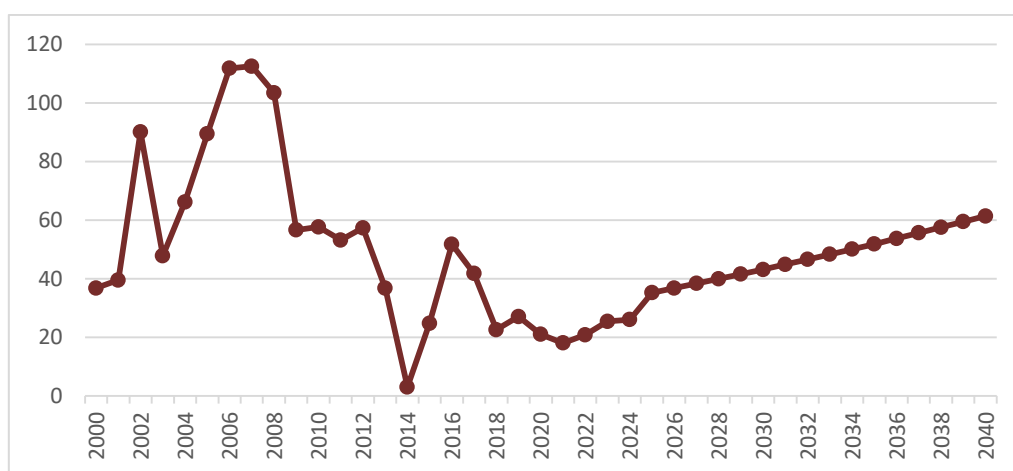


Figure 5 – Emissions Forecast, Railways of RM, kt CO₂-e

Conclusion. This paper describes methodological approaches to forecasting fuel consumption for rail transport. The resulting variable was the fuel consumption indicator, and influencing variables were used indicators: population, GDP, passenger turnover and freight turnover. Primary data for the regions were based on available statistical information. The three-factor regression model showed the best determination coefficient for 3 influencing variables: population, passenger turnover and freight turnover.

Fuel consumption in rail transport according to the constructed forecast for the country will increase to 700-750 TJ. Greenhouse gas emission forecasts for this category show a slight upward trend from 20 to 60 kt CO₂-e.

References

1. "Moldova Europeana-2030", Government decision 315/17.11.2022. Updated Nationally Determined Contribution of the Republic of Moldova (NDC2) 04.2020. <https://unfccc.int/NDCREG>
2. Low Emission Development Program until 2030 and Action Plan for its implementation 2023-2030. GD №1470 din 30-12-2016.

https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=98493&lang=ro

3. Land Transport Infrastructure Strategy, Government decision 85 of 01.02.2009, updated in HG 827 of 28.10.2013, Government decision №.827 from 28.10.2013.
https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=55092&lang=ro

4. National Energy and Climate Plan.

<https://particip.gov.md/ro/document/stages/planul-national-integrat-privind-energia-si-clima-pniec-al-republicii-moldova-pentru-perioada-2025-2030/11984>

5. Statistical Yearbooks for 2000-2023 years, www.statistica.gov.md.

USING THE THREE-VALUED LOGIC OF CONDITIONS IN THE INTELLIGENT DIAGNOSTICS PROGRAMME (DIAG) OF A RADAR SYSTEM

Duer R. – Independent researcher, radoslaw.duer@wp.pl

Duer S. – Professor, Doctor of Technical Sciences, stanislaw.duer@tu.koszalin.pl,
Department of Energy, Faculty of Mechanical Engineering and Power Engineering
Woźniak M. – Doctoral student in technical sciences, marek.wozniak@s.tu.koszalin.pl,

Doctoral School
Technical University of Koszalin,
Poland, Koszalin

Harničárová M. – Doctor of Technical Sciences, Professor, marta.harnicarova@uniag.sk
Slovak University of Agriculture in Nitra,
Faculty of Engineering, Institute of Electrical Engineering,
Automation, Informatics and Physics,
Nitra, Slovakia

Paś J. – Faculty of Electronic, jacek.pas@wat.edu.pl,
Military University of Technology of Warsaw
Warsaw, Poland

Bernatowicz D. – Doctor of Electronic and Informatics,
dariusz.bernatowicz@tu.koszalin.pl,
Technical University of Koszalin,
Poland, Koszalin

Abstract. A new approach to the diagnostics of the conditions of complex technical items with the use of four-valued logic is presented in this work. The subsets of technical item conditions were characterized, the ranges of the value changes of the features of diagnostic signals and the resulting condition changes were defined. The inference rules developed and defined that form the basis in the recognition process of the individual classes of condition subsets are an important part of this paper. A comparison was presented of the diagnostic process in two-valued and three-valued logic with four-valued logic in the context of obtaining diagnostic and maintenance information of a given technical item which defines the average time of the failure-free operation of the item.

Keywords: technical diagnostics, reliability of a technical object, neural networks, servicing process, expert system, knowledge base, diagnostic information

Technical elements used in the operation process. Technical items that are used in the process of operation lose their properties of functional characteristics as a result of an impact of various internal and external factors. In the majority of cases, these impacts are of an unfavourable nature, and after a certain time they lead to a loss of the functional properties of an item. For this reason, in the operation process, the user should undertake activities aimed at minimizing the effects of these impacts by submitting the item to a regeneration process [1, 2].

The technical diagnostics of the conditions of the item operated constitutes one of the initial realization stages of the regeneration process. This stage defines the activities connected with an identification of technical conditions in the item used for

the existing set of events or working situations. It is described with an unambiguous condition. A reliable behaviour of the item at a given moment is defined as a classification (diagnosis) of conditions [3-4].

In technical diagnostics, in the classification process of conditions, two-valued logic is used, where “1” defines an operable condition and “0” defines an inoperable condition. This kind of diagnostic classification is suitable for technical and technological processes and for a certain class of technical repairable and irreparable items. The purpose of this type of diagnostics is to recognize the operable condition and the inoperable condition (damages – failures) and to locate the element that generates this condition [5-6]. In the case of an organization of maintenance activities, a recognition in the item of those conditions which directly precede the occurrence of an inoperable condition, which is an incomplete operable condition, is of a great importance. Hence, the use of two-valued logic for the needs of the organization of the maintenance process is insufficient [7-8] has systematically been perfecting the theory and the diagnosing method of technical items in three-valued logic. The diagnostic inference used in it distinguishes the condition of a partial operable condition (incomplete operable condition) “1” apart from operable condition “2” and inoperable condition “0” [9-13].

At the present moment, the author’s scientific work is focused on the development of the rules (algorithms) of inference in diagnostic systems with the use of four-valued logic. The author perceives here new and important possibilities in the development of new intelligent maintenance systems that are based on (use) diagnoses with recognized states of the object in logic $k \geq 3$, at the beginning in four-valued logic. One may expect at this moment that an increase of the valence of logic in the process of inference to $k = 4$ can be still more significant to the whole maintenance process of technical objects. For the needs of the new research direction that is developed by the author, the development of a mathematical model of the restoration process of complex technical objects has become a weighty issue. The mathematical model will allow one to obtain new data in future research, e.g. for a comparative analysis of the logics of diagnostic inference used in connection with the qualitative effects of the process organized of the reconstruction of the operational qualities of technical objects.

Using the four-valued logic of conditions in the process diagnosis of a radar system. The method presented in the present paper concerning the control of the exploitation of a technical object on the basis of its state was verified on the example of a repairable technical object, which is a radar system. A functional and diagnostic analysis of the object was carried out for this purpose. A functional model was prepared and described of the object: a missile homing station of an anti-aircraft

missile set, which was presented in Fig. 1. For further determination of the diagnostic control (operational) information, receiver unit E_3 .

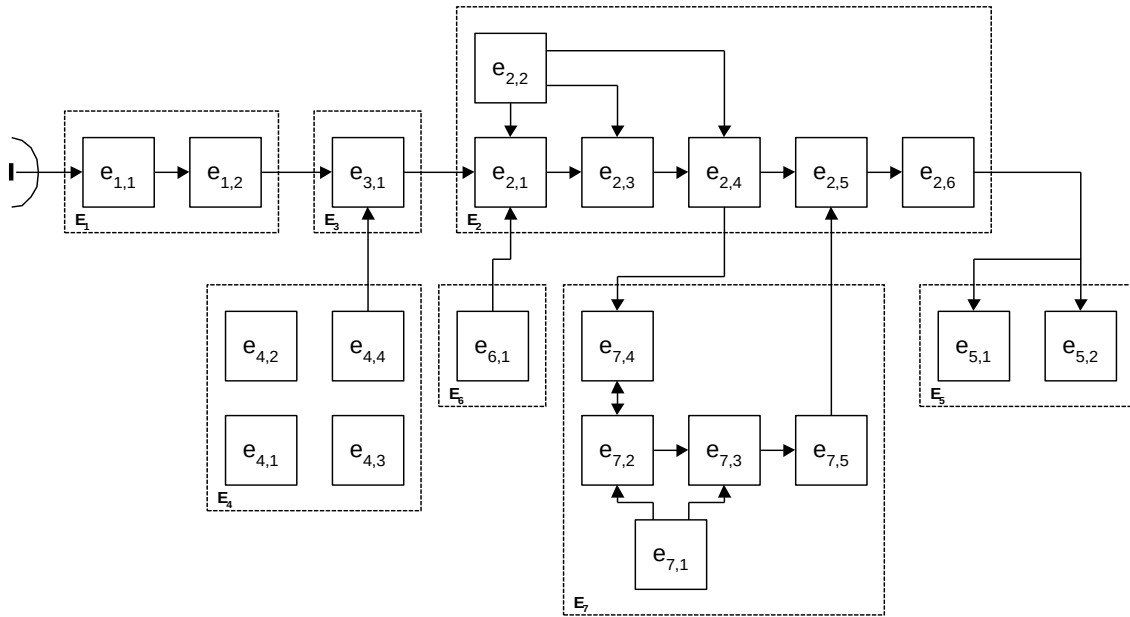


Fig. 1. Radar set decomposition process, where: $e_{1,1}$ - antenna (work type switch), $e_{1,2}$ - high-frequency power amplifier, $e_{2,1}$ - signal generator, $e_{2,2}$ - voltage supplier, $e_{2,3}$ - audio frequency power amplifier, $e_{2,4}$ - phase detector I, $e_{2,5}$ - phase detector II, $e_{2,6}$ - video amplifier I, $e_{3,1}$ - signal mixer, $e_{4,1}$ - potentiometer, $e_{4,2}$ - system tuning, $e_{4,3}$ - power oscillator, $e_{4,4}$ - generator - heterodyne, $e_{5,1}$ - system manual gain control, $e_{6,1}$ - observation rate I, $e_{6,2}$ - observation rate II, $e_{7,1}$ - control of the damping constant echoes, $e_{7,2}$ - damping constant echoes I, $e_{7,3}$ - damping constant echoes II, $e_{7,4}$ - signal amplifier, $e_{7,5}$ - coupling systems

In order to present the programme of the determination of the operating structure in a radar detection station, the receiver unit (E_3) was chosen as an example (Fig. 1).

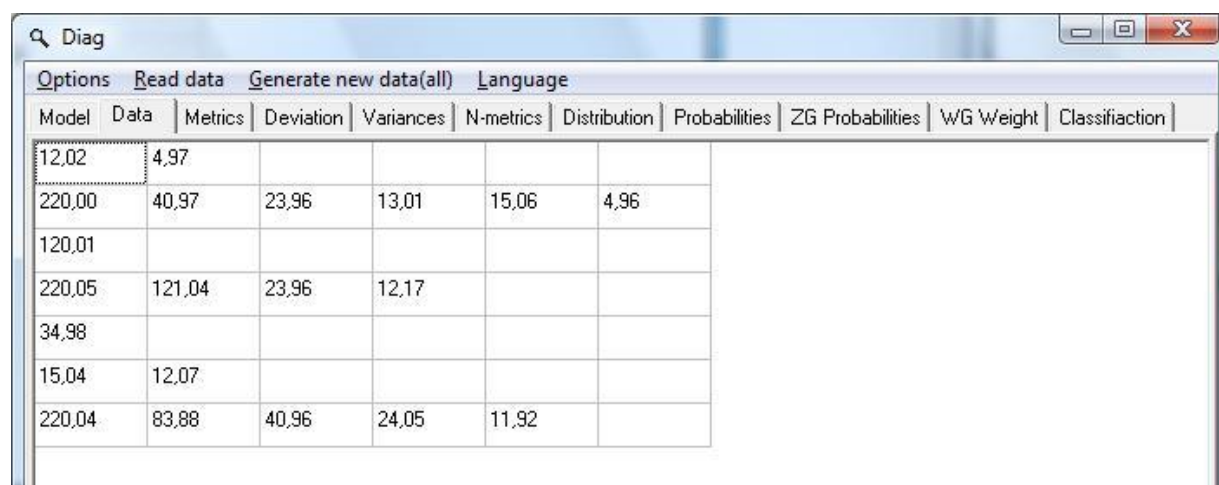
The receiver of the radar station consists of two parts: the first one is high frequency devices which work in the [GHz] range, and the second one consists of low frequency devices which work in the [kHz] range. The receiver of the station enables the reception of radar signals, their initial amplification, conversion into low frequency impulses, amplification in the low frequency range, detection and determination of the video signal.

On the basis of the method presented in the article of a functional and diagnostic analysis of the object, a functional and diagnostic model was developed. The internal structure of unit E_3 was divided, as a result of which a set of functional elements was determined, presented in Table 1.

Table 1. Internal structure of the unit E_3

Unit of object	Structure of the object					
E_1	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	-	-	-	-
E_2	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$e_{2,3}$	$e_{2,4}$	$e_{2,5}$	$e_{2,6}$
E_3	$e_{3,1}$	-	-	-	-	-
E_4	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$e_{4,3}$	$e_{4,4}$	-	-
E_5	$e_{5,1}$	-	-	-	-	-
E_6	$e_{6,1}$	$e_{6,2}$	-	-	-	-
E_7	$e_{7,1}$	$e_{7,2}$	$e_{7,3}$	$e_{7,4}$	$e_{7,5}$	-

The use of DIAG software requires preparation of input diagnostic information on the basis of a functional and diagnostic analysis of a given object. A functional and diagnostic model of an object needs to be made. On the basis of this, the following was determined: a set of basic elements, a set of diagnostic signals $\{X(e_{i,j})\}$ and a set of their model (standard) signals $\{X_{(w)}(e_{i,j})\}$. The results of measurements for chosen elements of object are presented Fig. 2.



Model	Data	Metrics	Deviation	Variances	N-metrics	Distribution	Probabilities	ZG Probabilities	WG Weight	Classification
12,02	4,97									
220,00	40,97	23,96	13,01	15,06	4,96					
120,01										
220,05	121,04	23,96	12,17							
34,98										
15,04	12,07									
220,04	83,88	40,96	24,05	11,92						

Fig. 2. Matrix of measures of diagnostic signals from the object

The set of elements from this set were grouped into subsets of classes using the classification method proposed in the paper. The state of the object was determined on the basis of the measurements of the diagnostic signal features processed. They were processed and analysed by an artificial neural network. The final results obtained of DIAG programme were presented in the form of a table of states (Table 2 and Fig. 3).

Table 2. Matrix of measures of diagnostic signals from the object

Level of object E_i	Vector of initial diagnostic signals $\{X(e_{i,j})\}$ [V]					
E_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
E_1	12,02	4,97	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
E_2	220,00	40,97	23,96	13,01	15,06	4,96
E_3	120,05	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
E_4	220,05	121,04	23,96	12,17	$\emptyset$	$\emptyset$
E_5	34,96	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
E_6	15,04	12,07	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
E_7	220,04	83,88	40,96	24,05	11,92	$\emptyset$

Model	Data	Metrics	Deviation	Variances	N-metrics	Distribution	Probabilities	ZG Probabilities	WG Weight	Classification
2	2									
2	2	2	3	3	2					
2										
2	2	3	0							
3										
2	2									
2	1	2	3	1						

Fig. 3. The final results obtained of DIAG programme, where: $\{3, 2, 1, 0\}$ – the set of the states of units of object, which are presented in four-valued logic, where: $\{3\}$ – the states of operable condition, $\{2\}$ – the states of incomplete operable condition $\{1\}$ – the states of critical operable condition $\{0\}$ – the states of inoperable condition $\emptyset$ – lack of basic element: symbol which completes the size of the Table

Result and discussion. The issue of diagnosing technical objects in multivalent logic for ($k > 3$) is constantly developed. In recent years three-valued logic has been intensively developed in a technical diagnosis, particularly in the field of applying it in the intelligent operation systems. The works by are significant for the development of three-valued logic ($k = 3$), where states constitute a set of states $\{2, 1, 0\}$. Three-valued logic brought important informative effects in the field of diagnosing technical objects and industrial and manufacturing processes. Determining (specifying) an incomplete ability state - the state “1” was a significant achievement of the three-valued logic. A possibility to recognize an incomplete ability state became the basis of intensive development of modern intelligent systems supporting organization of the technical objects’ operation system. It may be assumed that multivalent logic will bring completely new experience while operating technical objects. Presently, no

studies regarding multivalent logics for ($k > 3$) in technical diagnosis can be found in literature. If *an incomplete ability state – the state “1”* is significant in three-valued logic ($k = 3$), then *a critical ability state – the state “1”* is significant in four-valued logic ($k = 4$), where: states constitute a set of states $\{3, 2, 1, 0\}$. Considering four-valued logic, those j^{th} structural elements of an object, whose reliability at that time is too low, can be in a critical ability state. Internal elements (structural-constituent) with a critical ability state operate, that is to say, are operated shortly before their abrupt damage (critical). Thus, the issue of determining a critical ability state “1” in logic ($k = 4$) seems to be of great significance in the technical diagnosis due to the fact of determining object’s structural elements, which are in that state, and therefore they considerably reduce object’s operational performance. Knowing reliability process of that class of elements, it may, with high probability, be assumed that those elements will be damaged in a very short period of time; they will be in a nonoperational state, the state “0” (nonoperational state - failure).

Conclusions. The fast pace of the development of technology and the complexity of items results in an increased need to provide an accurate assessment of conditions with the aid of specialized diagnostic devices in the process of operation. The accuracy of the assessment of conditions is strictly connected with the quantity of the information obtained and the average time of the failure-free operation of the item. In the case of the organization of maintenance activities and the recognition in the item examined of those conditions that precede the direct occurrence of a fault condition, two-valued classification does not meet the foreseen requirements. An expansion of the classification to three-valued logic and an introduction of a significant change range with an additional partial operable condition has considerably increased the effectiveness of the technical item operation. For the purpose of a further increase of the reliability of diagnostic assessments, we proposed in the study a four-valued model with an additional critical operable condition. It defines the condition of the item which is able to perform some but not all of its functions, while assuming that the input signals are within admissible ranges.

Furthermore, the study defines the change ranges of the conditions of the item in four-valued logic; inference rules were defined for the recognition of individual conditions; a diagram was included of classes and possible directions were presented for the changes of the conditions of the technical item examined.

References

1. Barlow R.E., Proschan F., 1995. “Mathematical Theory of Reliability”. *J. Wiley & Sons*, New York. P. 335.
2. Birolini A., 1999: “Reliability Engineering Theory and Practice”. *Springer*, New York. P. 221.

3. Buchannan B., Shortliffe E., "Rule – Based expert systems," *Addison – Wesley Publishing Company*, p. 387, 1985.
4. Duer S., "Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object". *Defence Science Journal*, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 305-313.
5. Duer S., "Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects". *Neural Computing & Applications*. 2012, Vol. 21, No. 1, pp. 153-160.
6. Duer S., "Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object". *Neural Computing & Applications*. 2013, Vol. 22 No. 5 pp. 955-968.
7. Nakagawa T., "Maintenance Theory of Reliability". *Springer – Verlag London Limited*, 2005 p. 264.
8. Nakagawa T., Ito K., "Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests". *Math. Comput. Model.* Vol. 31, 2000, pp. 191-195.
9. Palkova Z., Okenka I., "Programovanie". *Slovak University of Agriculture in Nitra*, 2007, p. 203.
10. Pokoradi L., "Logical Tree of Mathematical Modeling". *Theory and Applications of Mathematics & Computer Science* 5 (1) (2015) pp. 20–28.
11. Pokoradi L., "Failure Probability Analysis of Bridge Structure Systems", *10th Jubilee IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*. May 21-23, 2015, Timișoara, Romania.
12. Rosiński A., "Design of the electronic protection systems with utilization of the method of analysis of reliability structures," *Nineteenth International Conference On Systems Engineering (ICSEng 2008)*, Las Vegas, USA 2008.
13. Rosiński A., "Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed – three branches reliability structure," *Reliability, Risk and Safety. Theory and Applications*, vol. 3. Editors: R. Bris, C. Guedes Soares & S. Martorell. CRC Press/Balkema, London, UK 2010.

MODELING PROCESSES IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS USING MATLAB

Kushnirenko K.Y. – bachelor's student, kushnirenko_ky@gsuite.duit.edu.ua

Voronko I.O. – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
voronko_io@gsuite.duit.edu.ua

Kyiv Institute of Railway Transport
State University of Infrastructure and Technologies
Ukraine, Kyiv

Abstract. *The article discusses the use of MATLAB and its extension Simulink to simulate processes in automated control systems. An analysis of tools for modeling dynamic systems has been carried out, advantages and disadvantages of various approaches to building models have been identified, including systems with nonlinear dynamics. Example of MATLAB application for development of control algorithms. their testing and verification are described. Particular attention is paid to methods of optimizing control parameters to improve the accuracy and reliability of systems.*

Keywords: MATLAB, Simulink, automated control systems, modeling, optimization, control algorithms

Relevance. Modern requirements for ACS include ensuring effective management in conditions of uncertainty, rapid adaptation to changes and minimizing the influence of the human factor. MATLAB and Simulink provide tools for solving these problems, allowing you to simulate both linear and non-linear processes, analyze the stability of the system, optimize the parameters of regulators and conduct testing without risk to real equipment [1-4]. This is especially true in the face of the need to reduce costs at the stages of development.

In addition, MATLAB's integration with modern technologies such as artificial intelligence and machine learning allows us to create innovative solutions for predicting, adapting and self-learning automated systems. This opens up new opportunities for managing production processes, optimizing energy consumption, improving control accuracy and ensuring sustainable development.

The method of research in this work is the development of modern approaches to modeling processes in automated control systems (ACS) using the powerful tool environment MATLAB and its extension Simulink. The main goal is to increase the efficiency of design and verification of control algorithms by creating highly accurate models that can reflect the real behavior of systems and their interaction with external factors. MATLAB and Simulink are recognized by the engineering community for their high performance, wide range of tools and flexibility, which allows them to be used to solve complex modeling and management problems [1, 2]. One of the key advantages of using Simulink is the ability to model both linear and nonlinear systems in an understandable graphical interface. This possibility is extremely important, since real systems often have complex dynamics that are

difficult to describe exclusively by linear methods. Thanks to Simulink's user-friendly flowchart interface, engineers can easily develop process models, adjust their parameters and integrate various subsystems. This simplifies the simulation process and allows for numerous experiments in a safe environment, which reduces the need for physical equipment and significantly reduces the cost of developing and testing the system [1-3].

Simulink also provides effective tools for analyzing the behavior of complex systems, allowing detailed verification of models and developing control strategies with high accuracy. This is especially important for systems where stability and optimization are critical, such as industrial processes, transport systems, robotics and others. Support for integration with other MATLAB tools, such as Optimization Toolbox and Control Systems Toolbox, allows you to optimize model parameters [1-3]. In particular, the use of nonlinear optimization methods helps to adjust the parameters of PID regulators and other control algorithms to minimize transients and reduce system stabilization time [4].

In addition, MATLAB provides data visualization and flexible analysis of simulation results, which simplifies the decision-making process and corrects the management strategy in real time. This integrated approach to modeling allows you to increase the productivity of engineering activities, reduce risks in the implementation of new systems and increase the reliability of the functioning of control systems in industry and research.

The use of MATLAB and Simulink in modeling processes in ACS becomes an integral part of modern approaches to the development of automated systems, which can significantly increase their efficiency, accuracy and flexibility in various fields of application [1-3].

Conclusion. One of the key advantages of MATLAB is the ability to integrate with artificial intelligence (AI) tools, which opens up new horizons for the development of intelligent automated systems. This integration allows machine learning to predict results, evaluate the performance of systems in real time, and adaptively adjust parameters to minimize risks and reduce the likelihood of errors. This significantly increases the efficiency of managing complex production processes and helps to make informed decisions faster.

Through the use of MATLAB, enterprises can optimize their production lines, improve resource management and ensure high adaptability to changes in market conditions and requirements. MATLAB tools allow you to create systems with predictable behavior, which increases the stability and reliability of equipment and processes. This ensures the continuity of production, reduces downtime, increases the overall efficiency and efficiency of production.

The use of MATLAB in automated control systems contributes to the introduction of advanced technologies, which makes it indispensable in the field of engineering and industrial production. Thanks to this tool, companies can create more adaptive and efficient production systems that are able to quickly respond to the challenges of the modern market and technological progress

References

1. Yampolskyi L.S., Tkach B.P., Lisovichenko O.I. (2011) Systems of Artificial Intelligence in Planning, Modeling, and Management. Kyiv: MAUP, 16 p.
2. Antonenko A.V., Pakhomov M.V., Kalita T.I., Galeta V.S. (2023) The Use of Artificial Intelligence in Automated Systems. Vinnytsia: DUT, 12 p.
3. Voronko I.O. (2021) Introduction of Advanced Intelligent Technologies in Railway Transport. In: *Progressive Technologies of Transport Means: First International Scientific and Technical Conference, September 23-24, 2021*, Mirgorod, Kharkiv: UKRDUZT, 44-46.
4. Воронко І.О., Жабінець Ю.В. (2023) Актуальність використання пакету програм MATLAB для студентів при практичному вивченні дисциплін // *Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. MDPC Publishing*. Munich, Germany. 2023, 157-158.

PASSIVE AND ACTIVE METHODS OF PROTECTION ELECTRONIC COMPONENTS AND DEVICES OF SECURITY SYSTEMS AGAINST DESTRUCTIVE EFFECTS IN BUILDINGS STRUCTURES

Paś J. – Professor of Technical Sciences, jpas@wat.edu.pl

Wiśnios M. – Doctor of Technical Sciences, mwisnios@wat.edu.pl

Tatko S. – Master of Sciences, sebastian.tatko@wat.edu.pl

Mazur M. – Master of Science., mmazur@wat.edu.pl

Institute of Electronic Systems
Military University of Technology
Poland, Warsaw

Abstract. *The article presents the application of active and passive methods of preventing unintentional interference effects in electronic security systems. Lines, surveillance loops and transmission buses of security systems, including detectors and control panels are equipped with electronic elements, devices and modules, whose task is to adequately protect the entire technical facility against interference from the entire frequency range. This is known as anti-destructive interaction in security systems. In electronic security systems, various technical or and organizational solutions are used to enable the activation of either passive or active shielding factors in a very short time.*

Keywords: *interference, electronic security system, surveillance lines and loops*

Passive and active methods to protect ESS used in transportation areas from destructive impacts.

Different passive methods are used to protect ESSs from destructive impacts. These shielding factors used in the passive method against the impact of destructive - disruptive factors on electronic security systems can include the following methods:

- is the implementation of the relevant organizational activities, even before the actual design of the ESS begins in a given building facility. It is the realization of such organizational undertakings - e.g., the arrangement of building partitions, windows, cable tunnels, internal power lines, etc., which are carried out even before the deployment of components, equipment, [1,2,3];
- all components, modules or devices of the ESS, which are designed to reduce the effects of destructive impacts (made at the design stage);
- appropriately trained service personnel, can also protect the ESS from danger without cost - this is, for example, the disconnection of external or internal supervision lines or loops from the control panel (CP) during intense thunderstorms with lightning obtained from the Polish access network called Perun informing about such phenomena in the country [2,3,4,5];
- maximum distance from occurring sources of interference to ESS equipment or modules;

- proper implementation of ESS power and information supply. Avoid routing wires, supervision loops and transmission buses together with internal power supply lines (IPSS) in which a large load current flows [6,7,8];

- proper storage of ESS components, equipment and modules in permanent, mobile or temporary storage facilities.

The methods of active shielding factors that are used to counteract the impact of the destructive process in the ESS can include the use of the following undertakings, which always occur together (synergy - increasing the degree of protection):

- passive and active filter elements should occur (be included) in the processing and useful signal paths and loops of the ESS [9,10];

- after the occurrence of a destructive process in the ESS or protected building in a vast area, the filters should always be adequately protected, for example, by an electronic element of the varistor type;

- use of overvoltage fuses in the low-voltage installation, zone protection for the most sensitive (susceptible) ESS components and equipment;

- power distribution boards feeding individual ESS components should have modules, interference filters with a specific bandwidth, and have additional protection in the form of a varistor - an element that responds to impulse interference;

- for the propagation of strong destructive interference in the environment, alarm and fault signal transmission devices should always be equipped with a power splitter or directional coupler [5,8,9];

- in the case of the propagation of strong destructive interference or the deliberate use of electromagnetic weapons, always strive to automatically disable the ESS, if possible;

- CPs should be especially protected, as they are particularly sensitive and susceptible to the effects of conducted or radiated interference;

- automatic disconnection of antennas and ESS modules used to transmit alarm and fault signals for the duration of interference;

- reducing the average load, such as current for ESS components by using various available technical solutions[3,8,9];

- all redundant elements built in the ESS should be in the off state (reserve unloaded or cold) [5,9].

Figure 1 illustrates the mechanism of using passive and active methods to protect against the anti-destructive impact used in ESS.

Figure 2 shows a simplified graph of the ESS operation process for the case of interaction of destructive - undesired signals. In the case of destructive signals

interacting with the ESS with different values of interference amplitude, it is possible that IV technical states will occur for this technical object:

1) no presence of destructive signals in the protected extensive transport area and building, ESSs function properly, anti-destructive redundant elements on, not used in a given time interval;

2) the amplitude of destructive signals affecting the ESS too small, and equal to approximately $A \cong 0$. In the ESS, there is no possibility of initiating so-called damage processes [2,5,6];

3) the amplitude of destructive signals affecting the ESS has a certain value and is $A > 0$. However, the anti-destructive elements, circuits and modules present in the ESS are sufficient to protect the entire technical facility from disruption;

4) The amplitude of destructive signals affecting the ESS is much greater than zero and is $A \gg 0$. Such interference impact is called catastrophic action. IV cases of interference impact were considered for the graph as in Figure 2 [3,8,9].

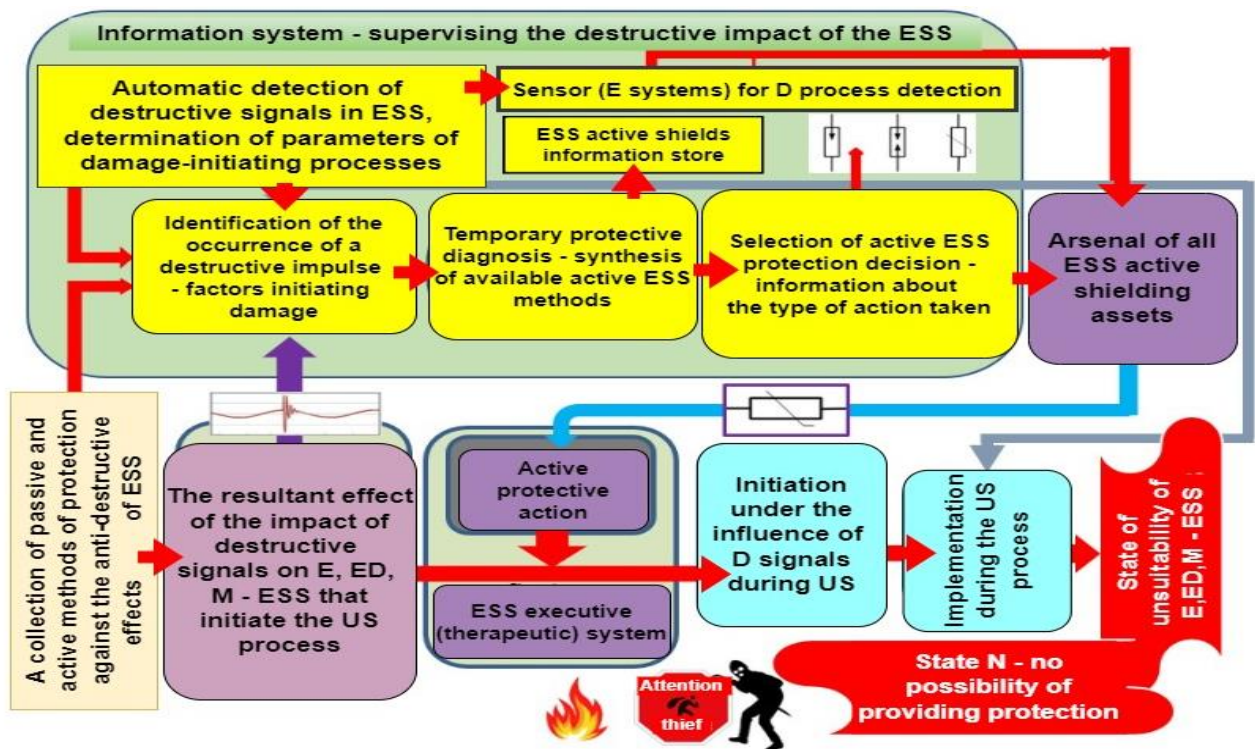


Figure 1 – Structure of anti-destructive surveillance and treatment systems for active shielding method with sensor detecting destructive processes in ESS used for protection of building structures, where: D - damage, E - element, ED - electronic device, M - module, DS - destructive signals, ESS - electronic security system, ES - electronic systems, US - unfit state.

ESS exploitation process graph for the case of impact of destructive signals.

I. case - no destructive signals affecting the ESS, the damage intensity λ of the system devices and their renewal intensities μ are due to the “normal” wear - aging process, λ_1, λ_{12} - damage intensity, μ_1, μ_{12} – repair intensity;

II. case - the impact of destructive signals on the ESS with a small amplitude $A \cong 0$. The intensity of damage λ elements of the ESS is a function of the level of the destructive signal. There are devices in the ESS that self-eliminate undesired signals (e.g., filters, voltage stabilizers, varistors, short-circuit isolators, etc...);

III. case - the impact of destructive signals on the ESS with the amplitude of undesired signals to be taken into account in the process of use $A > 0$. The intensity of damage λ and the intensity of renewal μ depend on the value of the disruptive signal;

IV. case - the impact of destructive signals on the ESS with a very large amplitude of undesired signals $A \gg 0$. The intensity of damage λ and the intensity of renewal μ depend strongly on the level of the interfering signal. There are devices and elements in the ESS that self-eliminate undesired signals. However, for $A \gg 0$ the destructive signal(s) are unable to interrupt this process of influence [2,5,8,9].

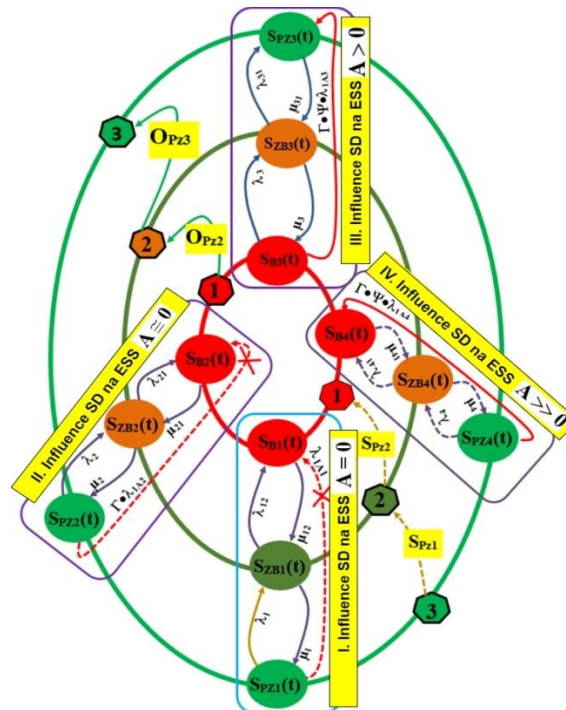


Figure 2 – Graph of the ESS operation process affected by destructive signals for four use cases, where: SD - destructive signals, A - amplitude of signals, 1,2,3 - circles of safety states of the ESS operation process, 3 - full operability, 2 - safety hazards, 1 - safety unreliability, the interpretation of the λ , μ transitions appearing in the figure is discussed in the text for the IV cases

Conclusions. Increasing the levels of strength, vulnerability and resilience of the ESSs under consideration, forming a specific structure, can also be realized through the proper conduct of the very process of use, supply and operation. Solutions related to the implementation of such an issue include the coordination of undertakings related to the provision of appropriate solutions:

- technical provided already at the design stage of a given security system,
- organizational related to servicing and maintenance - ongoing supervision of the ESS operation process,
- tactical ones related to the organization of spare parts stores and the anticipated direction of development and modernization of the technical structure of the ESS.

References

1. Paś, J.; Klimczak, T. Selected issues of the reliability and operational assessment of a fire alarm system. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2019; 21 (4): pp. 553 - 561, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.4.3>.
2. Paś J.; Rosiński A.; Białek K.: A reliability-exploitation analysis of a static converter taking into account electromagnetic interference, *Transport and Telecommunication Journal*, 2021, volume 22, no. 2, pp. 217-229, DOI: <https://doi.org/10.2478/ttj-2021-0017>.
3. Klimczak, T.; Paś J.: Basics of exploitation of fire alarm systems in transport facilities. ISBN 978-83-7938-294-1, pp.1 - 267, Military University of Technology, Warsaw 2020.
4. Paś, J.; Rosiński, A.; Wiśnios, M.; Majda - Zdancewicz, E.; Łukasiak, J.: Electronic security systems. Introduction to the laboratory. ISBN 978-83-7938-150-0. Military University of Technology, Warsaw 2018.
5. Wiśnios, M.; Tatko, S.; Mazur, M.; Paś, J.; Łukasiak, J.M.; Klimczak, T. Identifying Characteristic Fire Properties with Stationary and Non-Stationary Fire Alarm Systems. *Sensors* 2024, 24, 2772. <https://doi.org/10.3390/s24092772>
6. Mazur, M.; Wiśnios, M.; Paś, J. Analysis of the possibility of increasing the level of reliability of fire alarms systems through integration with video-based flame detection system. *Journal of KONBiN*. (2024);54(2):71-81.
7. Paś, J.; Klimczak, T.; Rosiński, A.; Stawowy, M.; Duer, S.; Harničárová, M. The Dynamic Change in the Reliability Function Level in a Selected Fire Alarm System during a Fire. *Sensors* 2024, 24, 4054. <https://doi.org/10.3390/s24134054>
8. Tatko, S.; Hładun, S.; Paś, J.: Problems of diagnosing fire alarm systems in transport facilities, *Journal of Automation, Electronics and Electrical Engineering*, pp. 39-46, Vol. 4 No. 2 (2022), DOI: <https://doi.org/10.24136/jae.2022.01>.
9. Mazur, M.; Wiśnios, M.; Paś, J. Analysis of false alarm causes in video fire detection systems. *Journal of KONBiN* 2023, Volume 53, Issue 2, DOI 10.5604/01.3001.0053.7134, pp. 187-208.

MECHANICAL MIXERS AND MIXING POWER

Sobieski W. – Professor of Technical Sciences, wojciech.sobieski@uwm.edu.pl

Duda M. – Doctor of Technical Sciences, michal.duda@uwm.edu.pl

University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Poland, Olsztyn

Abstract. *The article presents an overview of general information on the mixing process, focusing on mechanical mixers and analyzing the impact of key parameters such as mixer geometry, mixing speed, mixing time, and the physical properties of materials. These issues are discussed in the context of their influence on mixing power, process efficiency, and the quality of the products obtained. The gathered information forms the basis for further experimental and numerical research, which is currently in the design phase. These studies aim to optimize mixing processes, increase energy efficiency, and develop new mixing technologies.*

Relevance of the work. Mixing is one of the most important engineering processes used in various industries, such as the chemical, food, cosmetic, pharmaceutical, energy industries, as well as in water treatment processes. The efficiency of mixing directly affects the quality of the final product, the rate of chemical reactions, and other physical properties of substances, such as viscosity and density [1,7]. Understanding the mechanisms of mixing and the effective design of mixers is crucial for optimizing these processes.

Research Purpose. The aim of this work is to prepare for the subsequent stages of research, including the design of a laboratory setup that will allow experiments to be conducted under controlled conditions, as well as the development of simulation models of the mixing process using the Finite Volume Method (FVM).

Introduction. The goal of the mixing process is to achieve homogeneous solutions, emulsions, and suspensions, or to intensify heat transfer or mass transfer processes. Over the years, many design solutions have been developed for devices intended to achieve these objectives. The main methods of conducting the mixing process include: mechanical mixing, where the movement of the mixture is induced by agitators of various designs, pneumatic mixing, where the movement of the mixture occurs due to the flow of gas bubbles through it., flow mixing, where pumps and nozzles or mixing blades create interacting fluid streams.

A mixture is generally understood as a system of two or more components forming a liquid substance (e.g., paints, varnishes), semi-liquid substance (e.g., pastes, mortars), or granular substance (e.g., ceramic batches, feedstuffs). Liquid substances are mixed in mixers, semi-liquid substances in kneaders, and granular substances in blenders [3].

Mixtures can be classified as either homogeneous or heterogeneous. In engineering practice, it is often assumed that the substances being mixed form a homogeneous mixture, which simplifies calculations by allowing the use of single physical parameters representative of the mixture.

Mechanical mixers. Mechanical mixers are typically cylindrical tanks with either flat or conical bottoms, equipped with rotary or vibratory agitators. Agitators are usually placed either vertically, centrally, or off-center relative to the tank axis, or at an angle to this axis. In mixers with rotary agitators, depending on the direction of the flow, agitators can be classified as:

1. axial-flow agitators (e.g., blade agitators with blades angled relative to the rotation direction, propeller, screw, or ribbon agitators),
2. radial-flow agitators (e.g., blade agitators with blades perpendicular to the rotation direction, turbine, rotor, disc, or paddle agitators),
3. circular-flow agitators (e.g., anchor, frame, or grid agitators).

Radial-flow agitators are primarily used for mixing systems where gas is dispersed in a liquid, dissolving solids in liquids, and creating suspensions. Axial-flow agitators are most commonly employed for mixing systems with solid particles, as the flow they generate enhances the lifting of particles from the bottom of the tank. However, they are not used for dispersing liquids and gases.

Agitators are also categorized as high-speed or low-speed. The high-speed group includes agitators with relatively small surface areas perpendicular to the direction of movement, such as propeller, turbine, disc, or paddle agitators. Low-speed agitators, such as anchor, grid, or frame agitators, have larger surface areas and smaller clearances (the distance between the tank wall and the edge of the agitator). High-speed agitators are typically used for producing solutions and suspensions, while low-speed agitators are employed in systems where the goal is to sustain movement. High-speed agitators are suited for mixing low-viscosity substances, whereas low-speed agitators are more appropriate for high-viscosity substances. When using high-speed agitators, it is important to avoid creating a vortex on the liquid's free surface, as this can lead to excessive aeration of the mixture, which is often undesirable, and reduce mixing efficiency without decreasing the energy consumption of the operation.

Mixers are generally designed to generate a highly complex system of circulating fluid streams within the tank. This is achieved by offsetting the tank axis and agitator shaft, adding baffles to the tank walls (commonly known as vortex breakers), using multiple agitators on a shared shaft, or placing several agitators within a single tank. The last two solutions are more commonly applied in large-capacity tanks [2].

Mixing power. When designing mechanical mixers, calculating the mixing power plays a crucial role. It depends on three groups of factors: the geometric parameters of the agitator and the tank, the physical properties of the mixture, and the kinetic and dynamic parameters of the system. Agitators that generate radial circulation typically have higher mixing power than those with axial or mixed (radial-axial) action.

Mixing power calculations use the so-called power number, derived from the theory of hydrodynamic pressure exerted by a non-viscous fluid stream on a flat surface [5]. Simplifications in this theory mean that, for real (viscous) fluids and other wall geometries, various correction factors with complex characteristics must be introduced. The power number indicates that mixing power depends on the density of the mixture, the rotational speed of the agitator, the size of the agitator, the drag coefficient, and a constant that is a function of various geometric parameters of the mixer. If the densities of the individual components of the mixture are similar, the effect of gravity on the mixing process is relatively minor. However, if they differ significantly, the influence of gravity increases. Additionally, larger particles or bubbles amplify this effect. On the other hand, this influence is strongly conditioned by viscosity: the higher the viscosity, the slower the motion of particles or bubbles, and therefore, the weaker the gravitational effect. Two additional factors determining mixing power are the rotational speed and the diameter of the agitator. Both parameters influence the tangential velocity of the fluid at the agitator's outer edges, which, together with the density and viscosity of the mixture, affects the value of the Reynolds number. The Reynolds number is used to indicate whether the flow in a given system is laminar (dominated by friction), transitional, or turbulent (dominated by dynamic forces). Laminar flow typically occurs in mixers with low-speed agitators and high-viscosity fluids. In this case, drag forces, and thus mixing power, are high and increase as the Reynolds number decreases.

Transitional or turbulent flow occurs in mixers with high-speed agitators and low-viscosity fluids. Here, mixing power is lower and stabilizes at a constant level beyond a certain Reynolds number, which also depends on whether the mixer has baffles. Regarding drag forces, the viscosity of the fluid plays a crucial role. Viscosity is highly sensitive to temperature changes, which, in energy terms, means that mixing high-viscosity substances is more efficient at higher temperatures, provided this does not negatively affect the properties of the mixture or subsequent processes it will undergo [6, 7]. Since both the drag coefficient and the power number constant are difficult to calculate, practical approaches often rely on experimentally determined characteristics. Unfortunately, these are often imprecise and available only for basic agitator types. Modern agitator designs frequently differ significantly from classical solutions, resulting in unsatisfactory accuracy in estimating mixing

power. An alternative methodology involves the use of computational fluid dynamics (CFD) tools to perform numerical simulations and directly calculate the forces and moments acting on the agitator during the mixing process [4].

Mixing process parameters. Geometrical and process parameters can be adjusted over a fairly wide range. On the other hand, changes in the material properties of substances are significantly more limited. In the literature, there are no specific classifications for the density of liquids, and the only classification is related to the states of matter. Density changes depending on temperature, but the differences are very small and usually have no significant impact on mixing processes of homogeneous substances. Density is particularly important in the context of calculating mixing power in turbulent flow, where dynamic factors dominate, and these in turn depend on the mass of the substance. Another key material parameter of liquids and their mixtures is dynamic viscosity. The range of values for viscosity is much wider, and the effect of temperature is more significant. One of the liquids with the lowest internal friction is acetone, whose dynamic viscosity is approximately $0.304 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. The upper limit of dynamic viscosity practically does not exist, for example, the dynamic viscosity of tar, considered one of the most viscous substances, is about $1 \times 10^{11} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. High viscosity causes mixing of such substances to occur in laminar flow. The higher the viscosity of a substance, the greater the friction, the more heat is generated, and the greater the mixing power required.

Another important factor is the so-called fluid model: Newtonian, where shear stress is a linear function of shear rate, or non-Newtonian, where this is not the case. Shear rate refers to the local difference in speed between adjacent fluid elements or layers. This means that even if a substance has very high viscosity but does not move, there is no friction within it. Additionally, non-Newtonian fluids may have constant or variable viscosity over time. In the context of mixing power, an important distinction is made between shear-thinning fluids (e.g., some paints, most emulsions, sewage, lubricants), where viscosity decreases with increasing shear rate, and shear-thickening fluids (e.g., mixtures of liquids and solid particles), where viscosity increases with shear rate. In the first case, it is more advantageous to conduct the mixing process at higher impeller speeds, while in the second case, lower speeds are preferred. Another design or process limitation may be the occurrence of phenomena such as the Bingham effect (fluid swelling after exiting a nozzle or slit) or the Weissenberg effect (the opposite of funnel formation). Issues related to plastic deformation and the flow of materials are so extensive that they form a separate area of science known as rheology.

The key to correctly designing a mixer for substances with high viscosities is to accurately measure their material parameters, understand their specific characteristics

and properties, and determine all process and technological limitations that occur in the mixing process.

Conclusions. The mixing process is highly complex and depends on numerous factors, not only geometric or material but also situational. Research has shown that it would be challenging to account for all these elements in an analytical model and to develop a universal and reliable method for calculating mixing power in every possible situation. The main conclusion is that a far better approach would be to use simulation methods and to develop a general methodology for modeling mechanical mixers and determining mixing power based on validated fluid conservation models.

References

1. Cudak, M., Kielbus-Rapała, A., Major-Godlewska, M., Karcz, J. Influence of different factors on momentum transfer in mechanically agitated multiphase systems. *Chemical and Process Engineering*. 2016, 37, (1), p. 41-53.
2. Furukawa, H., Kato, Y., Inoue, Y., Kato, T., Tada, Y., Hashimoto, S. (2012). Correlation of Power Consumption for Several Kinds of Mixing Impellers. *International Journal of Chemical Engineering*, 2012, 106496-1-106496-6.
3. Harnby N., Edwards M.F., Nienow A.W. (1992). *Mixing in the Process Industries* (2nd Edition). Butterworth-Heinemann.
4. Jaszczur M, Młynarczykowska A.A. General Review of the Current Development of Mechanically Agitated Vessels. *Processes*. 2020; 8(8):982.
5. Paul Edward L., Atiemo-Obeng Victor A., Kresta Suzanne M. (2004). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. John Wiley & Sons.
6. Rudolph L., Schäfer M., Atiemo-Obeng V., Kraume M. Experimental and Numerical Analysis of Power Consumption for Mixing of High Viscosity Fluids with a Co-Axial Mixer, *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 85, Issue 5, 2007, Pages 568-575, ISSN 0263-8762.
7. Stręk F. *Mieszanie i mieszalniki*, WNT, Warszawa, (1981).

COMPARISON OF ACCURACY BETWEEN A MAGNETIC ENCODER AND A PRECISION MULTI TURN POTENTIOMETER

Zaremba A. – MSc Eng., arnold.zaremba@uwm.edu.pl

Tytula J. – MSc Eng., jakub.tytula@uwm.edu.pl

Department of Mechatronics

University of Warmia and Mazury in Olsztyn

Poland, Olsztyn

Abstract. *Precise position measurement is crucial in many modern automatic control systems, where accuracy affects the performance and reliability of entire systems. The main purpose of this study is to compare the accuracy of measurements obtained from a precision potentiometer and a magnetic encoder to determine which of these sensors is better suited for applications in automatic control systems requiring precise position measurements. The article's introduction presents the principle of operation of the various sensors. It then presents the construction of the test stand and describes how the measurements were made. The results obtained were tabulated and plotted against each other and compared, indicating the differences in the accuracy of the measurements of the two sensors. Based on the analysis of the results, conclusions were drawn about the potential applications of the two devices in different types of automatic control systems, such as positioning systems in industrial robotics or precision control devices in home automation.*

Keywords: *accuracy, modelling, magnetic encoder, potentiometer, optimization*

Relevance of the work is determined by the increasing requirements for precision and reliability in automatic control systems, which play a key role in modern industry. A comparison of the accuracy of a magnetic encoder and a precision potentiometer makes it possible to assess which of these devices better meets the needs of modelling, optimization and prediction in such systems. The results of this analysis can provide a basis for designing more efficient and cost-effective control systems that meet specific application requirements.

Research Purpose is to compare the accuracy of magnetic encoders and precision potentiometers to determine their application in automated control systems.

Magnetic encoders and precision potentiometers are sensors commonly used in automatic control systems to measure angular, linear or velocity position. Magnetic encoders use magnetic field changes to accurately read motion, featuring high resolution and resistance to harsh environmental conditions. Precision potentiometers, based on the principle of resistance change, offer simplicity of design and cost-effectiveness, making them attractive for applications requiring moderate accuracy.

The two components operate based on fundamentally distinct mechanisms and parameters. A precision multi-turn potentiometer functions as an analog device, detecting changes in resistance relative to the angle of rotation, enabling accurate position measurement. Its benefits include a straightforward operating principle, ease

of integration, and affordability, which make it appealing for various applications, including those in the medical field. Nevertheless, its accuracy may be compromised by factors like mechanical wear, potentially impacting the long-term stability of measurements, particularly under dynamic working conditions [1].

A magnetic encoder, in contrast, operates by sensing the magnetic field produced by the movement of a rotating element relative to its sensor. This digital device provides enhanced resistance to mechanical wear and delivers high precision in measurements, even in challenging environments with significant vibration or contamination. Additionally, magnetic encoders exhibit lower sensitivity to temperature variations, contributing to their reliability and stability over extended periods. According to the literature, these encoders find broad application in fields demanding exceptional accuracy, such as robotics, industrial automation, and medical devices, including systems for motor rehabilitation [2, 3].

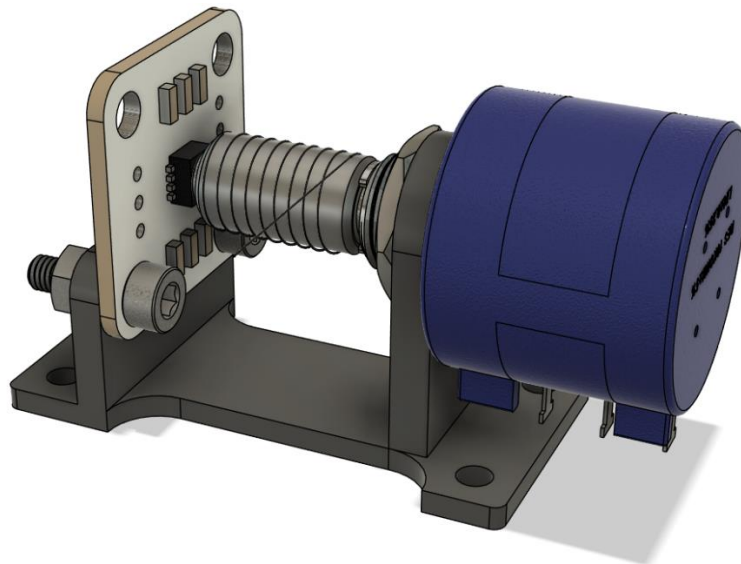


Figure 1 – A model of the created test bed

A test was carried out in which linear motion was converted to rotary motion, allowing simultaneous reading of data from a magnetic encoder and a precision potentiometer. For this purpose, a test bed was set up (shown in Figure 1), in which a cable was wound onto the shaft, ensuring that linear motion was precisely transferred to rotary motion. The aforementioned sensors were installed at both ends of the shaft, allowing data to be recorded simultaneously. The data obtained was converted into the angle of rotation of the shaft, and then the accuracy of the two devices was compared, making it possible to assess which one better meets the precision requirements for automatic control systems.

The tests described below were conducted to evaluate the accuracy and linearity of the chosen measurement systems. Two systems were tested: the 3590s-2-103L multi-turn precision potentiometer and the AS5600 magnetic encoder. Measurements were taken at intervals ranging from 0 to 10 centimeters, with increments of 0.5

centimeters, yielding a total of 20 measurement points. For each interval, the theoretical shaft rotation angle was calculated, amounting to 90.25 degrees for every 0.5-centimeter displacement of the cable. These theoretical values were then compared with the readings obtained from both sensors. A total cable displacement of 10 centimeters corresponded to a shaft rotation of 1805 degrees. The results are summarized in Table 1 and illustrated in Figure 2.

Table 1– Summary of measurements from potentiometer and encoder

Thread distance	Rotation angle	Potentiometer angle	Encoder angle
[cm]	[°]	[°]	[°]
0	0	0	0
0.5	90.25	91	83.3
1	180.5	183	179.8
1.5	270.75	271	261.7
2	361	362	352.3
2.5	451.25	449	438.7
3	541.5	543	516.4
3.5	631.75	633	613.9
4	722	719	696.2
4.5	812.25	816	795.6
5	902.5	905	879.8
5.5	992.75	993	970.9
6	1083	1085	1057.1
6.5	1173.25	1177	1144.6
7	1263.5	1266	1239
7.5	1353.75	1358	1323.3
8	1444	1450	1416.1
8.5	1534.25	1535	1521.1
9	1624.5	1630	1602.1
9.5	1714.75	1730	1692.4
10	1805	1803	1776.4

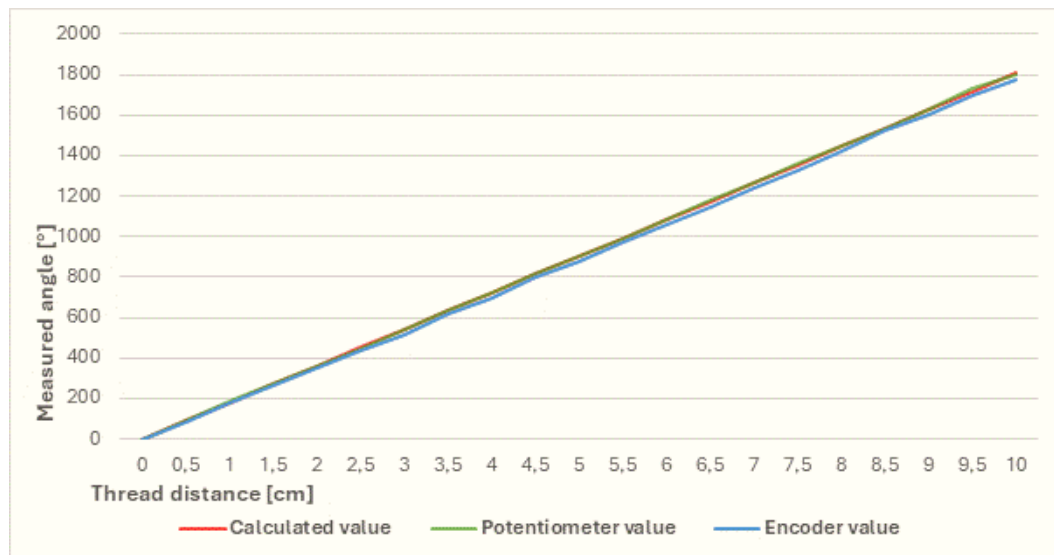


Figure 2 – Graph of the obtained angles from both sensors referring to the actual rotation

Conclusions. Analysis of the data indicates that the precision potentiometer achieves higher agreement with theoretical rotation angle values, especially in the lower range of linear displacement. The deviations in its readings are small, making it a suitable choice for applications where measurement precision is crucial. It is worth noting, however, that as the angle of rotation increases, the deviations begin to accumulate, although they are still within acceptable limits of $\pm 5^\circ$. The magnetic encoder, on the other hand, while initially showing smaller differences compared to the theoretical values, begins to deviate more from the expected results over time, especially at larger linear displacements. At the last measurement points, the difference between encoder readings and theoretical values is already about 28.6° , indicating possible phenomena related to cumulative errors in the encoder reading system.

The magnetic encoder, despite its larger deviations, shows greater measurement stability under dynamic conditions, making it more resistant to potential environmental variables. The final analysis shows that the potentiometer performs better in tasks where precise control of rotation angle is crucial, while the encoder may perform better in applications requiring durability and resistance to harsh environments.

The precision potentiometer, thanks to its simplicity of design and high accuracy, is used in applications where precise position control is crucial and the operating conditions are not too demanding in terms of dynamic loads. It can be used in home automation systems, such as precise position control in blinds or shutters, and in industrial robots for accurate positioning of handling components. Its low price and ease of implementation also make it attractive for R&D projects where cost is a significant constraint.

The magnetic encoder, on the other hand, is ideal for harsh industrial environments and dynamic control systems due to its resistance to mechanical wear, vibration and contamination. It can be used in mobile robotics, where measurement reliability is crucial for navigation, or in precision positioning systems in CNC machines, where repeatability of measurements under varying environmental conditions is important. In addition, its digital nature allows for easy integration into modern control systems.

It is worth noting that the choice between the two sensors depends on the specific application. In situations where both accuracy and ruggedness are important, a hybrid application that combines the advantages of both sensors may be a possible solution. For example, an encoder can serve as the main measurement element, while a potentiometer can act as a redundant system for greater reliability. This type of approach could find application in advanced control systems in robotics or autonomous vehicles, where accuracy and safety are equally important.

R e f e r e n c e s

1. Gasperi, M., Hurbain, P.P., Gasperi, M., & Hurbain, P.P. (2009). Potentiometer Sensors. *Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level*, 103-118.
2. Feng, T., Chen, W., Qiu, J., & Hao, S. (2021). A new kind of absolute magnetic encoder. *Sensors*, 21(9), 3095.
3. Hao, S., Liu, Y., & Hao, M. (2009, February). Study on a novel absolute magnetic encoder. In *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics* (pp. 1773-1776). IEEE.

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

**III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти,
викладачів та науковців «СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТРАНСПОРТНА
ІНФРАСТРУКТУРА ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ» 2024 р.**

Частина 2

Відповідальний за випуск Губаревич О.В.

<https://kizt.duit.edu.ua/research-activities/>

Технічний секретар конференції Камінський М.М.

Статті надруковано в авторській редакції.

Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність інформації,
що наведена в роботах, і залишає за собою право не погоджуватися
з думками авторів щодо розглянутих питань

Articles are published in the author's edition.

The editorial board is not responsible for the accuracy of the information,
that is given in the works, and reserves the right to disagree
with the opinions of the authors on the issues under consideration

Видавництво

Київського інституту залізничного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій
Адреса: вул. Івана Огієнка, 19, м. Київ, Україна

2024р.