

The issue of journal contains:

Proceedings of the IV Correspondence
International Scientific and Practical Conference

OPEN SCIENCE NOWADAYS: MAIN MISSION, TRENDS AND INSTRUMENTS, PATH AND ITS DEVELOPMENT

held on May 23th, 2025 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)
LLC International Centre Corporate Management (Vienna, Austria)

Nº52
MAY, 2025

ISSN 2710-3056

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

GRAIL OF SCIENCE

№ **52** (May 2025)

with the proceedings of the:

IV Correspondence International
Scientific and Practical Conference

**OPEN SCIENCE NOWADAYS:
MAIN MISSION, TRENDS
AND INSTRUMENTS, PATH
AND ITS DEVELOPMENT**

held on May 23th, 2025 by

NGO European Scientific Platform
(Vinnytsia, Ukraine)
LLC International Centre Corporative
Management (Vienna, Austria)

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ГРААЛЬ НАУКИ

№ **52** (червень, 2025)

за матеріалами:

IV Міжнародної науково-
практичної конференції

**ВІДКРИТА НАУКА СЬОГОДЕННЯ:
ОСНОВНА МІСІЯ, ТЕНДЕНЦІЇ
ТА ІНСТРУМЕНТИ, ШЛЯХ
ТА ЇЇ РОЗВИТОК**

що проводилася 23.05.2025

ГО «Європейська наукова
платформа» (Вінниця, Україна)
ТОВ «International Centre Corporative
Management» (Відень, Австрія)



Видання розраховане на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, усіх, хто прагне отримати ґрунтовні знання теоретичного і прикладного характеру.

**Рекомендовано до видання Вченою Радою Наукової установи
«Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці». Протокол № 20 від 22.05.2025.**

Головний редактор: Танасійчук Альона Миколаївна, д-р. екон. наук, доцент (Україна)
Заступник головного редактора: Ємельянов Олександр Юрійович, д-р. екон. наук, професор (Україна)
Голова оргкомітету конференції: Голденблат Марія (Україна)
Заступник голови оргкомітету конференції: Рейчел Апаро (Австрійська Республіка)
Відповідальний секретар: Рабей Настасія Романівна (Україна)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Квасницька Раїса Степанівна - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Jakhongir Shaturaev** - канд. екон. наук, доцент (Республіка Узбекистан); **Бойко Світлана Василівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Заднепровська Ганна Ігорівна** - канд. екон. наук (Україна); **Занора Володимир Олександрович** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Маркович Ірина Богданівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Яковенко Роман Валерійович** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Поливана Людмила Анатоліївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Гевчук Анна Вікторівна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Маслій Олександра Анатоліївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Євтушенко Наталія Миколаївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Москвічова Олена Сергіївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Ясишена Валентина Валеріївна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Михайлишин Лілія Іванівна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Гавриленко Наталія Вікторівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Гіулі Гігуашвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія); **Тамар Макасарашвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія); **Мерабі Ванішвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія).

НАУКОВІ КОНСУЛЬТАНТИ:

Онкієнко Сергій Володимирович - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Marko Timchev** - д-р. екон. наук, доцент (Республіка Болгарія); **Khatuna Tabagari** - д-р. екон. наук, професор (Сакартвело); **Грень Лариса Миколаївна** - д-р. наук з держ. управління, професор (Україна); **Михаліцька Наталія Ярославівна** - канд. наук з держ. управління, доцент (Україна); **Ткаченко Павло Ігорович** - аспірант (Україна); **Купріянова Дарина Сергіївна** - практикуючий юрист (Польща); **Губаль Галина Миколаївна** - канд. фіз.-мат. наук, доцент (Україна); **Козуб Галина Олександрівна** - канд. техн. наук, доцент (Україна); **Козьма Антон Антонович** - канд. хім. наук (Україна); **Морозова Тетяна Василівна** - канд. біол. наук, доцент (Україна); **Купріянова Лариса Сергіївна** - канд. мед. наук, доцент (Україна); **Лисенко Дмитро Андрійович** - канд. мед. наук, доцент (Україна); **Цубанова Наталя Анатоліївна** - д-р. фарм. наук, професор (Україна); **Олійник Світлана Валентинівна** - канд. фарм. наук, доцент (Україна); **Полєжаєв Юрій Григорович** - канд. наук із соц. ком., доцент (Україна); **Mukhabbat Khakimova** - д-р. пед. наук, професор (Республіка Узбекистан); **Куліченко Алла Костянтинівна** - д-р. пед. наук, доцент (Україна); **Фурман Тарас Юрійович** - канд. пед. наук, доцент (Україна); **Бажан Станіслав Миколайович** - д-р. філософії (Україна); **Ямполь Юрій Віталійович** - аспірант (Україна); **Антипова Жанна Ігорівна** - старший викладач (Україна); **Яцик Мар'яна Романівна** - канд. пед. наук, доцент (Україна); **Корбозерова Ніна Миколаївна** - д-р. філол. наук, професор (Україна); **Ковальська Наталя Аркадіївна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Присяжнюк Оксана Ярославівна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Мелех Галина Богданівна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Корнус Анатолій Олександрович** - канд. геогр. наук, доцент (Україна); **Фомін Андрій Володимирович** - канд. іст. наук, доцент (Україна); **Рубан Микола Юрійович** - д-р. філос. з іст. та археології (Україна); **Гірна Наталія Мирославівна** - канд. іст. наук, доцент (Україна); **Устінова Ірина Ігорівна** - д-р. арх., професор (Україна); **Катерина Діденко** - канд. арх. (Україна); **Воскобойнікова Юлія Василівна** - д-р. мист. (Україна); **Крипчук Микола Володимирович** - канд. мист., доцент (Україна); **Лугова Тетяна Анатоліївна** - канд. мист., доцент (Україна)

Верстальник: Білоус Тетяна (Україна). **Дизайнер:** Казьміна Надія (Україна). **Коректор:** Дудник Григорій (Україна).

«Грааль науки» є офіційно зареєстрованим мультидисциплінарним науковим виданням з міжнародною сферою поширення, що підтримує політику відкритого доступу. **Ідентифікатор медіа R30-02704** (рішення № 430 від 22.02.2024 Національної Ради України з питань телебачення і радіомовлення).

Наказом МОН України № 582 від 24.04.2024 виданню «Грааль науки» присвоєно Категорію Б фахових видань України з питань економіки (051 «Економіка»).

«Грааль науки» індексується в міжнародних реферативних та наукометричних базах даних:

Index Copernicus Journals Master List; «Наукова періодика України» (Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського НАН України); Національний репозитарій академічних текстів; Google Scholar; WorldCat; Open Ukrainian Citation Index; CrossRef; Mendeley; Scite; Semantic Scholar; Scilit; OpenAIRE, PubPeer.

Конференція зареєстрована UкрІНТЕІ (Посвідчення № 129 від 06.01.2025) та сертифікована Euro Science Certification Group (Сертифікат № 22891 від 18.02.2025).

За точність викладених фактів та правильність цитування відповідальність несе автор.

© Автори статей, 2025

© ГО «Європейська наукова платформа», 2025

© НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025

© LLC «International Centre Corporate Management», 2025



GRAIL OF SCIENCE : inter. scientific journal. – Vinnytsia : NGO «European Scientific Platform»; SI «Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperation», 2025. – No 52. – 1170 p.

The publication is intended for scientists, teachers, graduate students, students, all those who seek to obtain thorough knowledge of a theoretical and applied nature.

Recommended for publication by the Academic Council of the Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperation. Protocol № 20 from May 22, 2025.

Editor-in-chief: Alona Tanasiichuk, D.Sc. in Economics, Associate professor (Ukraine)
Deputy editor-in-chief: Olexandr Yemelyanov, D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine)
Chairman of the Organizing Committee: Miriam Goldenblat (Ukraine)
Deputy Chairman of the Organizing Committee: Rachael Aparo (Austria)
Responsible secretary: Nastasiia Rabei (Ukraine)

EDITORIAL BOARD:

Raisa Kvasnytska - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Jakhongir Shaturaev** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Republic of Uzbekistan); **Svitlana Boiko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Hanna Zadnieprovsk** - Ph.D. in Economics (Ukraine); **Volodymyr Zanora** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Iryna Markovych** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Roman Yakovenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Liudmyla Polyvana** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Anna Hevchuk** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Oleksandra Maslii** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Nataliia Yevtushenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Olena Moskvichova** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Valentyna Yasyshe** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Liliia Mykhailyshyn** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Nataliia Havrylenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Giuli Giguashvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Tamar Makasarashvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Merabi Vanishvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia).

EDITORIAL CONSULTANTS:

Serhii Onikiienko - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Khatuna Tabagari** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Marko Timchev** - D.Sc. in Economics, Associate professor (Republic of Bulgaria); **Larysa Hren** - D.Sc. in Public administration, Professor (Ukraine); **Nataliia Mykhalitska** - Ph.D. in Public administration, Associate professor (Ukraine); **Pavlo Tkachenko** - Ph.D. student (Ukraine); **Daryna Kupriianova** - lawyer (Republic of Poland); **Halyna Hubal** - Ph.D. in Physics and Maths, Associate professor (Ukraine); **Halyna Kozub** - Ph.D. in Technical sciences, Associate professor (Ukraine); **Anton Kozma** - Ph.D. in Chemistry (Ukraine); **Tetiana Morozova** - Ph.D. in Biology, Associate professor (Ukraine); **Larysa Kupriianova** - Ph.D. in Medicine, Associate professor (Ukraine); **Dmytro Lysenko** - Ph.D. in Medicine, Associate professor (Ukraine); **Natalia Tsubanova** - D.Sc. in Pharmacy, Professor (Ukraine); **Svitlana Oliinyk** - Ph.D. in Pharmacy, Associate professor (Ukraine); **Yuriy Polyezhayev** - Ph.D. in Social Communications, Associate professor (Ukraine); **Mukhabbat Khakimova** - D.Sc. in Pedagogy, Professor (Republic of Uzbekistan); **Alla Kulichenko** - D.Sc. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Taras Furman** - Ph.D. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Stanislav Bazhan** - Doctor of Philosophy (Ukraine); **Yurii Yampol** - Ph.D. student (Ukraine); **Zhanna Antypova** - Senior Lecturer (Ukraine); **Yatsyk Mariana** - Ph.D. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Nina Korbozerova** - D.Sc. in Philology, Professor (Ukraine); **Natalia Kovalska** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Oksana Prysiashniuk** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Melekh Halyna** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Anatolii Kornus** - Ph.D. in Geography, Associate professor (Ukraine); **Andrii Fomin** - Ph.D. in History, Associate professor (Ukraine); **Mykola Ruban** - Ph.D. in History and Archaeology (Ukraine); **Nataliia Hirna** - Ph.D. in History, Associate professor (Ukraine); **Iryna Ustinova** - D.Sc. in Architecture, Professor (Ukraine); **Kateryna Didenko** - Ph.D. in Architecture (Ukraine); **Yuliia Voskoboinikova** - D.Sc. in Arts (Ukraine); **Mykola Krypchuk** - Ph.D. in Arts, Associate professor (Ukraine); **Tetiana Luhova** - Ph.D. in Arts, Associate professor (Ukraine)

Responsible for e-layout: Tetiana Bilous (Ukraine). **Designer:** Nadiia Kazmina (Ukraine). **Proofreader:** Hryhorii Dudnyk (Ukraine).

The journal «Grail of Science» is an officially registered in Ukraine multidisciplinary and internationally disseminated scientific edition that supports the policy of open access for scientific publications. **Media identifier R30-02704** (decision № 430 dated 22.02.2024 of the National Council of Ukraine on Television and Radio Broadcasting).

By order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine № 582 of April 24, 2024, the journal «Grail of Science» was assigned Category B of specialized publications of Ukraine on economics (051 «Economics»).

The journal «Grail of Science» is indexed in international reference and scientometric databases:

Index Copernicus Journals Master List; «Наукова періодика України» (Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського НАН України); Національний репозитарій академічних текстів; Google Scholar; WorldCat; Open Ukrainian Citation Index; CrossRef; Mendeley; Scite; Semantic Scholar; Scilit; OpenAIRE, PubPeer.

The conference is approved by UKRISTEI (Certificate № 129 dated January 6th, 2025) and certified by Euro Science Certification Group (Certificate № 22891 dated February 18th, 2025).

The author is responsible for the accuracy of the facts presented and the correctness of citations.





РОЗДІЛ XX. ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

СТАТТІ

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF WAVE ENERGY CONVERTER

Scientific research group:

Biliuk I., Savchenko O., Lovkin V., Rachynskyi A., Kozlov A., Ivanov A. 611

РОЗДІЛ XXI. КОМП'ЮТЕРНА ТА ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ

СТАТТІ

СУЧАСНІ МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕРФЕЙСІВ КОРИСТУВАЧА В
ROS-ОРІЄНТОВАНИХ СИМУЛЯТОРАХ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ
ПЛАТФОРМ

Газда Н.Б. 619

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СУЧАСНИХ БЕЗДРОТОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ
МЕРЕЖ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

Волошин М.І. 626

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ
ХВОРОБ ЛИСТЯ ТОМАТІВ

Гуменюк Р.В., Іванина В.В., Тищенко І.А. 628

РОЗРАХУНОК ГІДРАВЛІЧНОГО НАХИЛУ ДІЛЯНОК ГАЗОВОЇ МЕРЕЖІ ЗА
ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Ксенич А.І. 631

РОЗДІЛ XXII. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

СТАТТІ

ВИЯВЛЕННЯ АТАКИ ТИПУ ПРОГРАМИ-ВИМАГАЧА МЕТОДОМ
ПОТОКОВОГО ВИЯВЛЕННЯ

Гальчинський Л.Ю., Ярощук В.В. 634

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМИ OBSIDIAN ДЛЯ
МЕНЕДЖМЕНТУ ЗНАНЬ

Д'яков Я.Р. 641

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ
СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ: СУЧАСНИЙ СТАН І НОВІ ПІДХОДИ

Товтин М.М. 647



DOI 10.36074/grail-of-science.23.05.2025.082

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF WAVE ENERGY CONVERTER

SCIENTIFIC RESEARCH GROUP:

Ivan Biliuk

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Oleh Savchenko 

Head of Laboratories, Department of Automation
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Viacheslav Lovkin

Postgraduate student of the Department of Automation
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Andrii Rachynskyi

Postgraduate student of the Department of Automation
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Andrii Kozlov

PHD
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Anton Ivanov

PHD
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Summary. *The design of an experimental model of wave energy converter is considered. An experimental study of a linear generator of a wave energy converter is carried out. Experimental characteristics of energy conversion processes in a linear generator of an electromechanical energy converter are obtained.*

Keywords: *wave energy converter, linear generator, electromechanical energy converter, experimental model.*

Statement of the research problem.

One of the most promising areas of development of the world energy sector at present is the use of renewable energy sources, which eliminates a number of problems that arise in the process of functioning of traditional energy, including the harmful impact on the environment. The use of renewable sources to solve the problems of energy supply of the population and industry is extremely important for



Ukraine, which is primarily due to energy shortages and negative trends in the existing domestic energy system and the unsatisfactory state of the environment. The main advantage of using renewable energy resources is their inexhaustibility and ecological purity, which contributes to the improvement of the ecological state and does not lead to a change in the energy balance on the planet. When using renewable energy sources, the need for extraction, processing, enrichment and transportation of fuel disappears, the problem of utilization or disposal of harmful waste from traditional energy production is eliminated.

The main task for our country at present is to create a scientific and technical base for renewable energy in order to gradually replace traditional methods of energy production in Ukraine with practically inexhaustible environmentally friendly renewable energy sources within the framework of the appropriate realization of their potential [1].

Among renewable energy sources, sea waves develop the highest specific power. Using only a certain fraction of the total wave energy of the World Ocean for electricity generation is enough to significantly increase this production without causing any harm to the planet's ecosystem. Therefore, the issue of developing wave energy converters is relevant and promising [2].

Presentation of the main material

A wave energy converter (WEC) is a power plant located in an aquatic environment, the purpose of which is to generate electricity from the kinetic energy of waves. Wave power plants are promising environmentally friendly energy sources, which, unlike other renewable energy sources (wind, solar), have a high specific power concentration per unit wavelength. Industrialized maritime states (Australia, England, Norway, Japan) are developing WECs as alternative energy sources and as the only possible energy sources for remote marine areas [3].

Their work is based on the effect of waves on working bodies, made in the form of floats, pendulums, shovels, shells, etc. The mechanical energy of their movements is converted into electrical energy using electric generators.

The creation of a wave energy converters is determined by the choice of a sea area with a stable supply of wave energy, an effective design of the converter, which includes mechanisms for converting mechanical energy into electricity. It is believed that wave power plants can operate effectively when using a power of about 50-70 kW/m. Experience in operating existing plants shows that the electricity they produce is currently 2-3 times more expensive than traditional electricity, but a significant reduction in its cost is expected in the future.

Modern wave energy converters use a wide variety of energy components of waves to produce electricity. They use the vertical movement of waves, the flow of water in the ocean, ebb and flow, and different levels of water temperature to convert energy.

In [4], a design of a buoy-shaped electromechanical energy converter with a built-in linear generator was proposed. The dynamic model of a simplified linear electromechanical energy converter is shown in Fig. 1.

A linear generator with a mass m is attached to the WEC's housing using a spring 2 and a damping element 3. The AC generator part consists of a sensitive coil 4 and a magnet 5. The coil 4 is built within the adjusted mass m in a position around

the magnet 5 and ends with a pair of electrical contacts that are connected to an external load.

Magnet 5 is attached to the mass m of the generator. This means that the mass m includes the moving mass of the generator and the mass of the magnet. The damper must have its own resonant frequency equal to the buoy's lifting frequency. The amplitude of the oscillations of mass m in this case would be maximum, and the amount of electricity produced in the generator would also be maximum.

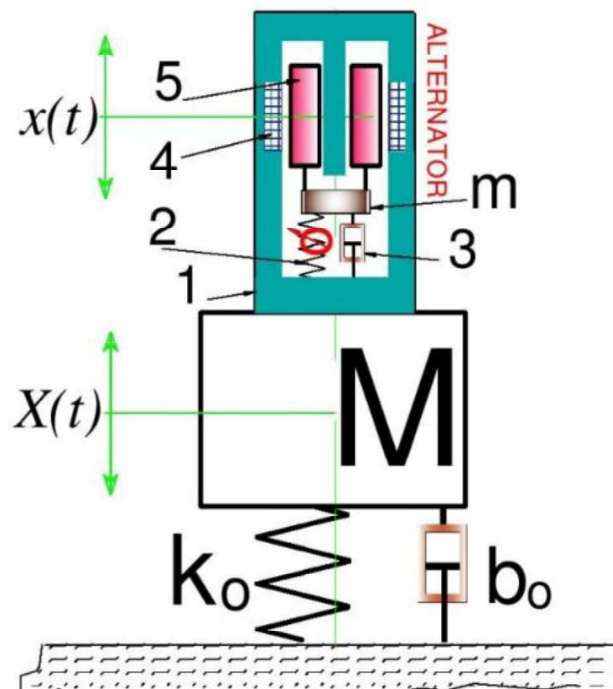


Fig. 1 Dynamic model of a simplified linear electromechanical energy converter:
1 – housing; 2 – spring; 3 – damping element; 4 – coil; 5 – magnet

The dynamics of the system in this case is described by a system of ordinary differential equations:

$$\begin{aligned} MX'' + b_o X' + k_o X + m\omega^2(X - x) + b_1(X' - x') &= M_o \sin(\omega t) \\ mx'' - m\omega^2(X - x) - b_1(X' - x') + \Phi i &= 0 \\ Li' + Ri - \Phi(x' - X') &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

where Φ – coupling factor. The coupling factor in this case can be defined as $\Phi = BLs$, where B – magnetic field flux, and Ls – characteristic size.

The equivalent circuit of a linear generator is shown in Fig. 2, where L_a , R_o – inductance and active resistance of the working winding; L_L , R_L – inductance and active resistance of the load, taking into account the rectifier resistance; E_v – EMF of motion induced in the working winding when moving the magnets.

EMF of motion E_v is described by the expression

$$E_v = C_{MW} \frac{dx}{dt} = C_{MW} x_m \cos \omega t \quad (2)$$

where C_{MW} the coefficient of the electromagnetic force, which is found by the formula

$$C_{MW} = k_{MW} \frac{2\mu_0 l F_M w}{\pi k_\mu a} \quad (3)$$

where k_{MW} – electromagnetic force linearization coefficient; μ_0 – magnetic permeability of vacuum, which is equal to $4\pi \cdot 10^{-7}$; l – the length of the circle of the magnet diameter D_M ; F_M – magnetomotive force of a magnet; w – number of winding turns; k_μ – saturation coefficient 1,05; a – parameter that depends on the length of the magnet and air gaps.

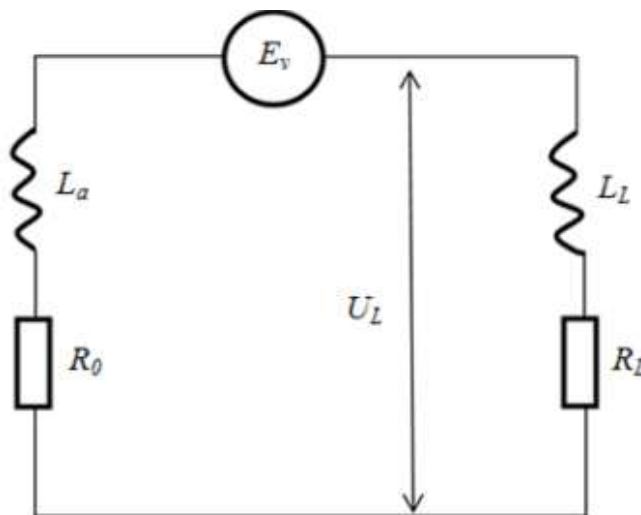


Fig. 2 Equivalent circuit of a linear generator

The equation of motion dynamics of the inductor of a linear generator will be described by the expression

$$F_{np} - F_{EM} - F_{тр} - F_{пpуж} = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (4)$$

where F_{np} – force applied from the side of the drive mechanism (buoy); F_{EM} – electromagnetic force of a linear generator; $F_{тр}$ – friction forces; $F_{пpуж}$ – the force of a spring or other device that reduces vibrations; m – the mass of the inductor.

The system of voltage equilibrium equations for current i has the following form

$$(L_a + L_L) \frac{di}{dt} + (R_0 + R_L)i + E_v = 0 \quad (5)$$

$$U_L = L_L \frac{di}{dt} + R_L i \quad (6)$$

where U_L – load voltage.

Fig. 3 shows a diagram of the calculation of the EMF of a linear electric generator of the experimental model of the WEC. In the starting position $z=0$ the stator winding is opposite the magnetic pole of the rotor magnet. The stator coil is a winding divided into 12 sections. The flux linkage of the coil with the magnetic field is maximum.

Variants of stator winding connection diagrams are shown in Figure 3, where Figure 4, a shows a single-phase connection diagram, and Figure 4, b shows a three-phase diagram.

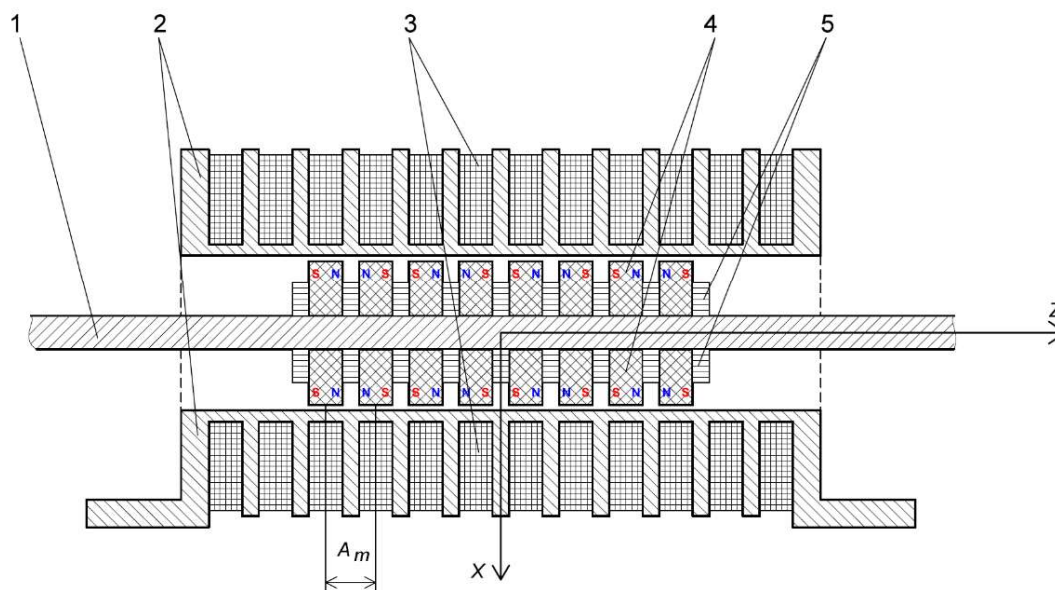


Fig. 3 EMF calculation scheme of a linear electric generator of the WEC:
1 – non-magnetic rotor guide; 2 – stator coil frame; 3 – stator coils; 4 – permanent rotor magnets; 5 – rotor magnet washers

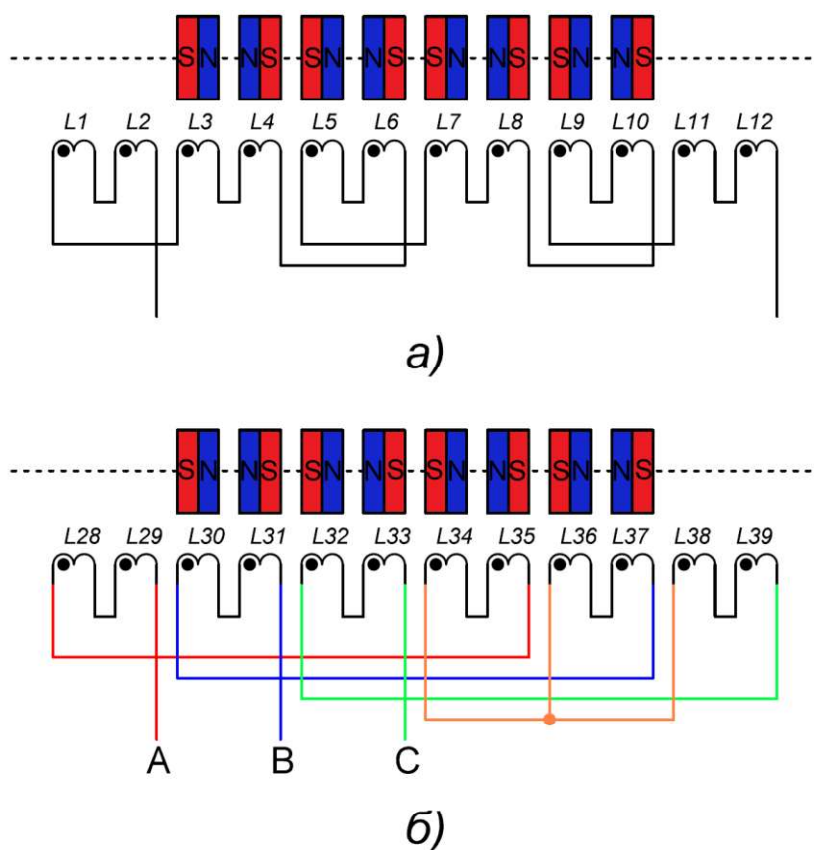


Fig. 4 Connection diagram of the stator windings of the linear electric generator of the experimental model of the WEC

According to Faraday's law of electromagnetic induction, when the flux linkage of the magnetic field Ψ and the coil changes over time t electromotive force (EMF) occurs in the coil $E(t)$ [5]:



$$E(t) = \frac{d\Psi}{dt}$$

This ratio can be transformed into the form:

$$E(t) = \frac{d\Psi}{dz} \frac{dz}{dt}$$

where z – coordinate along the axis of the linear electric generator; $\frac{dz}{dt}$ – speed of movement of the electric generator rotor guide (Fig. 3).

Let the flux linkage of the coil vary according to the harmonic law:

$$\Psi = \Psi_0 \cos\left(\frac{\pi z}{A_m}\right)$$

where A_m – the distance between adjacent magnetic poles of magnets in the initial position $z = 0$. The magnetic pole is located opposite the stator winding section, which provides flux linkage with the coil, the length of the guide is large enough to ignore edge effects. Thus, when the guide is at the point $z = 0$ flux linkage is equal to Ψ_0 , when moving the guide on $z = A_m$ flux linkage becomes equal $-\Psi_0$, since the polarity of the adjacent magnet is opposite [6].

Then:

$$E(t) = \frac{\Psi_0 \pi}{A_m} \sin\left(\frac{\pi z}{A_m}\right) \frac{dz}{dt}$$

$$z \in [-z_0, z_0]$$

If the rotor movement occurs according to a harmonic law with amplitude z_0 relative to the central position $z = 0$ and with frequency F (i.e., the guideway moves in the range $[-z_0, z_0]$):

$$z(t) = z_0 \sin(2 \pi F t)$$

then the rotor speed $\frac{dz}{dt}$:

$$\frac{dz}{dt} = 2 \pi z_0 \sin(2 \pi F t)$$

Then for the EMF as a function of time:

$$E(t) = \frac{\Psi_0 \pi}{A_m} \sin\left(\frac{\pi z_0 \sin(2 \pi F t)}{A_m}\right) 2 \pi z_0 \sin(2 \pi F t)$$

$$E(t) = \frac{2\pi^2 \Psi_0 z_0 F}{A_m} \cos(2 \pi F t) \sin\left(\frac{\pi z_0 \sin(2 \pi F t)}{A_m}\right)$$

The experimentally obtained dependences of the EMF on time are presented in Fig. 5.

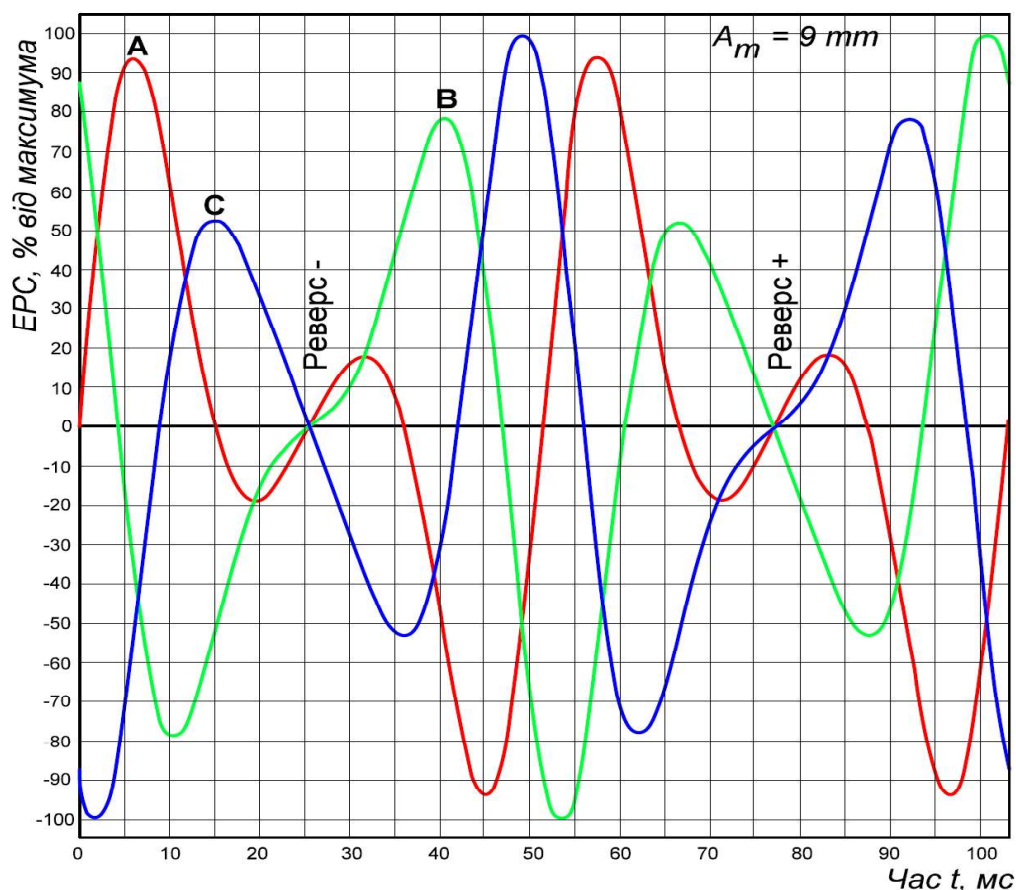


Fig. 5 Experimental dependences of EMF on time of a linear generator of a WEC

The obtained characteristics coincide with theoretical calculations.

Conclusions. As a result of the conducted research, a mathematical model of the processes of controlled energy conversion in a wave energy converter was obtained. The obtained results allow calculating the operating parameters of the WEC at the design and operation stages.

References:

- [1] Barylo, A. A., Benmenni, M., Bud'ko, M. O., Bud'ko, V. I., Vas'ko, P. F., Holovko, V. M., ... & Yatsenko, L. V. (2020). Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi.
- [2] ROADMAP, O. E. S. Ocean Energy Forum (2016).
- [3] Joao Cruz Ocean Wave Energy: Current Status and Future Prespectives. – Springer, 2008. – 431 pages.
- [4] Nerubenko, G., Blintsov, V., Mozgovyy, A., & Biliuk, I. (2019, August). The Novel Wave Energy Harvesting Buoy. In 2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET) (pp. 1-6). IEEE.
- [5] Pirisi, A., Gruosso, G., & Zich, R. E. (2009, March). Novel modeling design of three phase tubular permanent magnet linear generator for marine applications. In 2009 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (pp. 78-83). IEEE.
- [6] Ribeiro, J., & Martins, I. (2010, April). Development of a low speed linear generator for use in a wave energy converter. In International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'10.



ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА ХВИЛЬОВОЇ ЕНЕРГІЇ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Білюк Іван Сергійович

андидат технічних наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Савченко Олег Валерійович

завідувач лабораторіями кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Льовкін В'ячеслав Сергійович

аспірант кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Рачинський Андрій Володимирович

аспірант кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Козлов Андрій Юрійович

PHD

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Іванов Антон Віталійович

PHD

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Анотація. Розглянуто проектування експериментальної моделі перетворювача хвильової енергії. Проведено експериментальне дослідження лінійного генератора перетворювача хвильової енергії. Отримано експериментальні характеристики процесів перетворення енергії в лінійному генераторі електромеханічного перетворювача енергії.

Ключові слова: перетворювач хвильової енергії, лінійний генератор, електромеханічний перетворювач енергії, експериментальна модель.