

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА ТА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА ОБЛАДНАННЯМ.

MONITORING, DIAGNOSTICS AND CONTROL OF ENERGY PROCESSES AND EQUIPMENT

UDC 620.92

DOI 10.20535/1813-5420.1.2023.276028

V. Nerubatskyi¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-4309-601X

D. Hordiienko¹, Postgraduate, ORCID 0000-0002-0347-5656

¹Ukrainian State University of Railway Transport

ANALYSIS OF THE CONTROL SYSTEM OF A WIND PLANT CONNECTED TO THE AC NETWORK

The dynamics of the development of alternative power sources over the past few decades are presented, which gives reason to talk about the trends in the further development of wind energy. An analysis of the structures and technical characteristics of wind generators is provided, namely, types of electric motors, power circuits of semiconductor converters that provide the generation of electrical energy to the general industrial electrical network. The issue of the possibility of operation of wind generators in wide wind ranges, the issue of emission of reactive power and higher harmonics of currents to the general industrial electrical network, as well as the issue of the efficiency of various structures of wind generators are considered. A wind turbine control system with an asynchronous generator is proposed. A study of transient control processes and energy compatibility of a full energy conversion wind turbine with a power supply network by simulation computer modeling in the Matlab / Simulink software environment is given. The obtained result indicates the possibility of operation of an asynchronous generator with a short-circuited rotor as part of a wind turbine, which makes it possible to provide power to the alternating current network at low wind speeds.

Keywords: *alternative energy source, asynchronous generator, wind turbine, wind energy, power plant, control system.*

Introduction

Wind energy is a relevant and promising type of renewable energy. Since 2014, 85 countries of the world use wind energy on a commercial basis. Large wind farms are included in the general grid, smaller ones are used to supply electricity to remote areas. In 2020, the total installed capacity of all wind generators was 743 GW, which exceeded the total installed capacity of nuclear power [1, 2].

Thus, the amount of electricity generated by wind power has been growing exponentially in recent years (Fig. 1).

The construction of wind power plants is associated with some technical and economic difficulties that slow down the spread of wind energy. In particular, the variability of wind flows does not create problems with a small share of wind energy in the total production of electricity, but with the growth of this share, the problems of the reliability of electricity production also increase. Intelligent power distribution management is used to solve such problems. The task of the wind power plant conversion system is to generate sinusoidal output voltages with a stable amplitude and frequency. Different types of semiconductor converters, as well as different control systems, can be used to generate a sinusoidal output voltage [3, 4].

Analysis of Recent Research and Publications

Most wind turbines use a DFIG (double-fed induction generator) system, which allows for variable speed power generation. The papers [5, 6] with DFIG have contributed to the control of wind systems (step-back control, sliding mode control, MPPT control, PCHD model control, D-FOC control). The main disadvantage of such control is that it is based on a strict mathematical aspect for synthesis.

The paper [7] proposed the use of a high-voltage direct current (HVDC) transmission system, which has technical advantages in creating an asynchronous connection and mass supply of electricity over long distances. However, the disadvantages of such a system include the high cost of building the system. A converter station is much more expensive to build than a conventional AC substation of similar capacity, as many more components are required for the better performance of an HVDC system. At the same time, the number of harmonics increases, which affect the quality of electricity and can lead to system oscillations.

Thus, the task of determining the optimal layout and control system of a wind turbine with full energy conversion is an actual unsolved task.

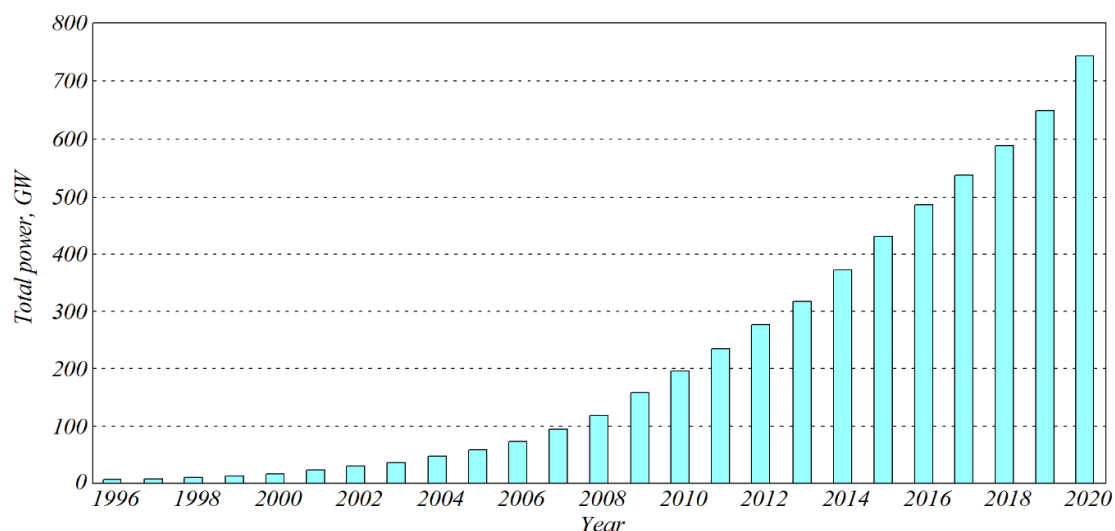


Figure 1 – Dynamics of wind energy growth

Purpose and Objectives of the Study.

The purpose of the study is to analyze the influence of the wind turbine control system with an asynchronous generator on the energy indicators of the wind turbine, which will make it possible to supply power to networks with low alternating current. To achieve this purpose, the following tasks are set:

- comparison of possible topologies of wind power plants and the efficiency of using wind turbines with different layouts;
- determine the requirements for the transmission of wind energy into the power supply network and the quality of electricity;
- research of transient control processes and energy compatibility of a wind turbine with full energy conversion with the power supply network.

Main Material of the Study. Wind turbine control includes both fast and slow control dynamics. In general, the power must be controlled by an aerodynamic system and must respond to a setpoint (given either by the control center or locally) in order to maximize energy production based on the available wind energy. The power controller should also be able to limit the power.

When operating a wind power plant with a dual-feed generator system, the wind turbine will usually change speed in proportion to the wind speed and maintain a fixed pitch angle. In very light winds, the turbine speed will be locked at the maximum allowable slip to avoid overstressing. The pitch controller limits power when the turbine reaches rated power. The generated electricity is produced by driving a doubly fed generator through a rotor-side converter. Controlling the inverter from the mains side simply maintains a fixed DC voltage. Both converters use internal current loops, which are usually linear PI controllers. Power converters on the network side and on the rotor side are voltage source converters [8, 9].

Very high technical requirements are imposed on generating units, such as frequency and voltage control, regulation of active and reactive power, quick response to transient and dynamic situations of the power system, for example, reduction of power from nominal to 20 % of power within 2 seconds.

Power electronics technology is an important part of the control system configuration. A wind farm equipped with power electronic converters can control both active and reactive power, as well as control variable-speed wind turbines to maximize useful energy and reduce mechanical stress and acoustic noise [10, 11]. A DFIG-based wind power plant connected to an AC network (type A wind turbine) is shown in Fig. 2.

In an HVDC transmission system, the low or medium AC voltage at the wind farm is converted to high DC voltage on the transmission side, and the DC power is transferred to the system where the DC voltage is converted to AC voltage. Such a topology can make it possible to change the speed of the wind turbines of the entire wind farm.

A DC drive system configuration is possible where each wind turbine has its own power electronic converter, allowing each wind turbine to be operated at an individual optimum speed.

Wind energy requirements cover a wide range of voltage levels from medium to very high voltage. Grid codes for wind energy address the issues that make wind farms behave like conventional power plants on the electricity grid. These requirements focus on controllability, power quality, fault remediability, and network support during failures [12, 13].

According to the requirements, the wind turbines must be able to drive the active point of the common connection in a given power range. The active power is usually regulated with respect to the system frequency so that the power supplied to the grid is reduced when the grid frequency exceeds 50 Hz.

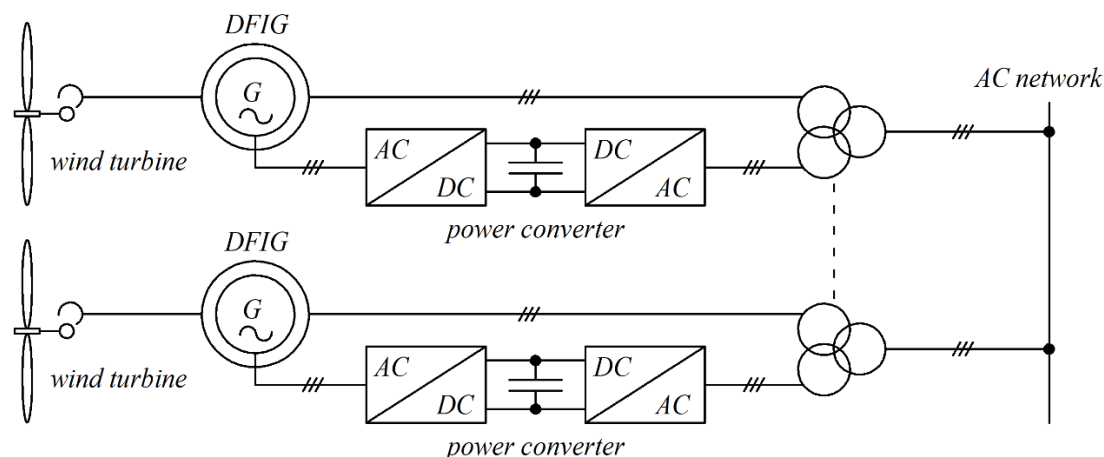


Figure 2 – A DFIG-based wind power plant connected to an AC network

Wind farms connected at the transmission level must act like conventional power plants, providing a wide range of output power control based on the requirements of the transmission system operator, as well as participating in primary and secondary control. Seven control functions are required to control a wind farm. Among such priority active power control functions implemented in the wind farm controller in accordance with the requirements of grid regulations should be the following: delta control, balance control, absolute performance and system protection [14, 15].

Power quality issues are resolved primarily for wind turbines connected to medium voltage networks. Two standards are mainly used to define power quality parameters, namely IEC 61000-x-x and EN 50160. Specific values are given for rapid voltage changes, short-term flicker strength, long-term flicker strength and total harmonic distortion.

Software Modeling of the Simulation Model

In order to evaluate the effectiveness of the application of wind turbines of a particular layout, it is necessary to conduct studies of transient control processes and energy compatibility with the network. In the Matlab / Simulink software environment, a simulation model of a wind turbine with a full energy conversion of 120 kW was developed (Fig. 3). According to the review, this wind turbine belongs to the medium power class and is most often used with an asynchronous generator.

The simulation model of the wind turbine consists of a turbine with a capacity of 130 kW, an asynchronous generator with a capacity of 110 kW, two inverters – excitation and mains, a control unit and a mains. Such an arrangement allows power to be supplied to the alternating current network at a non-constant frequency of rotation of the wind motor shaft, which provides an increase in the control range and use of the wind turbine at low wind speeds. The use of an asynchronous generator is associated with its low cost and high reliability, which are important parameters for small and medium power installations.

In the framework of the simulation model, the operation of the wind turbine consists in the transformation of the mechanical energy of the wind engine, implemented with the help of the "Wind Turbine" unit. It should be noted that this block does not take into account the moment of inertia of the wind engine, so it should be taken into account in the simulation model of the asynchronous generator. The excitation inverter of the asynchronous generator is implemented by the "Motor inverter" unit, is controlled using space-vector modulation and provides control of the asynchronous generator.

The connection to the alternating current network is provided by the "Grid inverter" block. The network inverter converts the energy of the direct current circuit into alternating current energy for transmission to the network with parameters regulated by the requirements for the quality of electrical networks.

The asynchronous generator control system is built according to the frequency-current principle, which is sufficient, since the generator rotation frequency sensor is used in the scheme. The switching frequency of semiconductor gates is set at 2 kHz.

In case of loss of connection to the network (line break or emergency shutdown), the circuit provides a braking resistor "Rt".

The result of simulation of the operation of the wind turbine when the speed changes from 4 m/s to 6 m/s is shown in Fig. 4.

The obtained result indicates the possibility of operation of an asynchronous generator with a short-circuited rotor as part of a wind turbine operating in conditions of variable wind speed. This can be used to develop a wind turbine control algorithm that will maximize the power output.

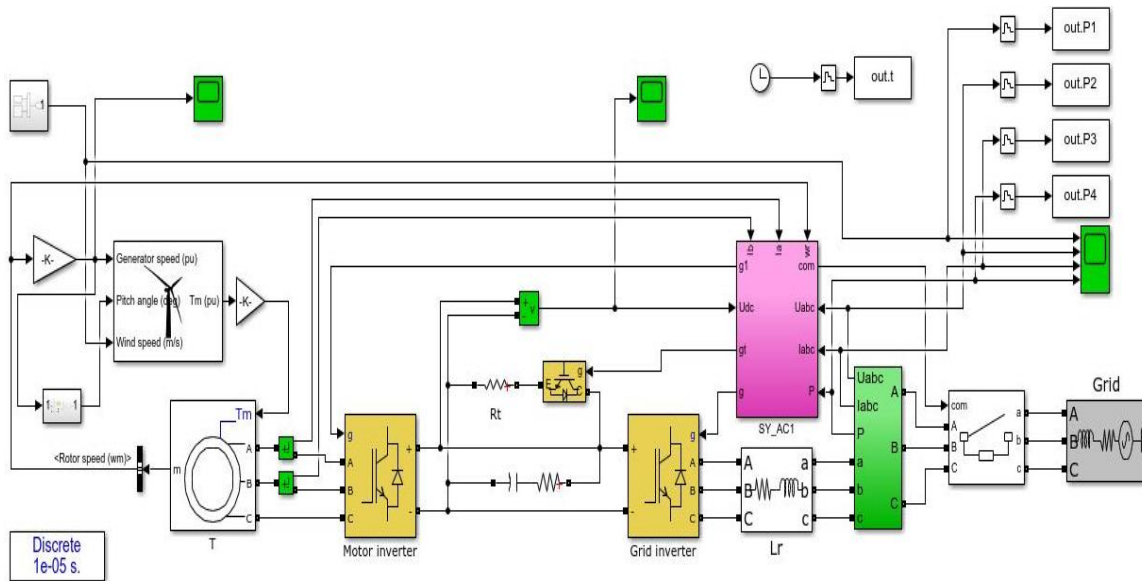


Figure 3 – Simulation model of a wind turbine with full energy conversion

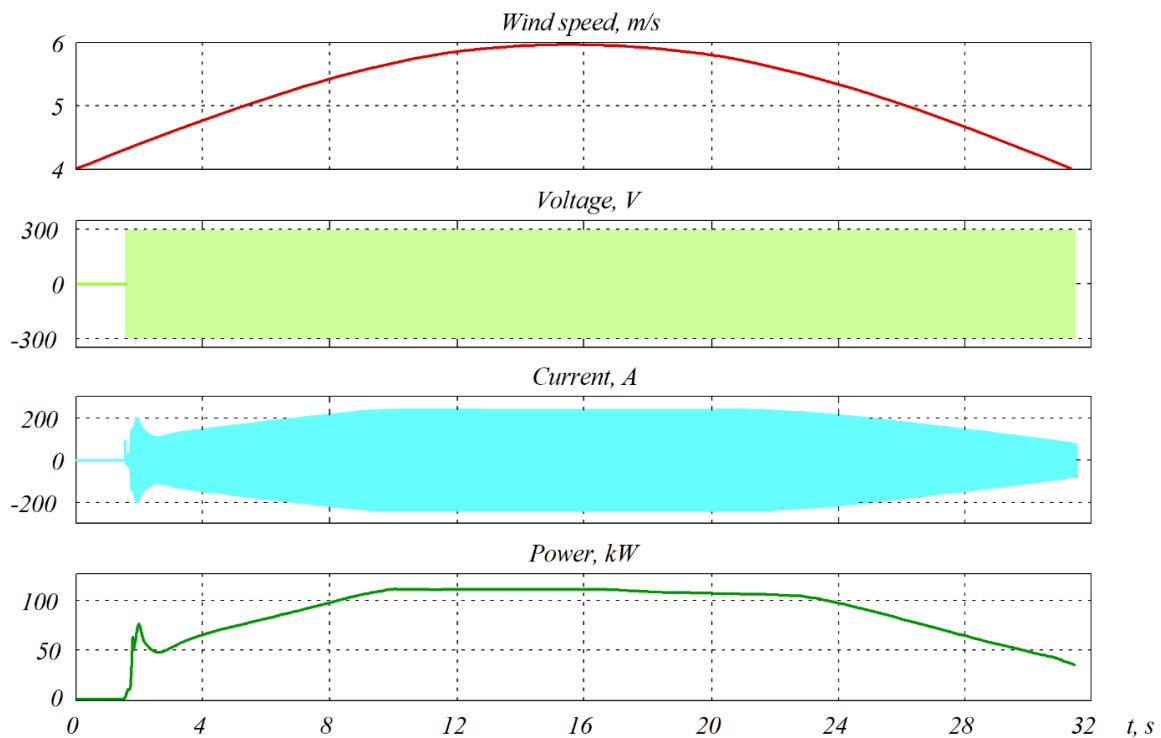


Figure 4 – Transitional process of wind turbine operation

Conclusions

On the basis of the conducted research, the following conclusions can be drawn:

- a comparison of the structures and technical characteristics of wind generators of well-known power stations was carried out. The most effective is the installation of a wind turbine with an asynchronous generator;
- wind power stations connected to level transmissions should operate like ordinary power stations, providing a wide range of output power control;
- the proposed layout of the wind turbine with full energy conversion allows to give power to the alternating current network at a non-constant frequency of rotation of the wind motor shaft, which ensures an increase in the control range and use of the wind turbine at low wind speeds.

Acknowledgement

The article was prepared as part of the support of the grant of young scientists of Ukraine "Development of scientific bases for improving energy efficiency and improving the quality of electricity in electricity networks" (State Registration Number 0121U109440).

References

1. Muhammad N., Nisar A., Muhammad B., Hafiz M. N. Potential environmental impacts of wind energy development. *A global perspective. Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2020. Vol. 13. P. 85–90. DOI: 10.1016/j.coesh.2020.01.002.
2. Fouad A., Alali Ch., Gainullina L. Increasing the efficiency of wind farms. *iPolytech Journal*. 2022. Vol. 26. P. 217–227. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-2-217-227.
3. Watson S., Moro A., Reis V., Baniotopoulos C., Barth S., Bartoli G., Bauer F. Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 113, 109270. P. 1–21.
4. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Mykhalkiv S., Hordiienko D., Shelest D., Khomenko I. Research of energy characteristics of three-phase voltage source inverters with modified pulse width modulation. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 422–427. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570071.
5. Hamiani H., Abdellah M., Tadjeddine A., Abdelkader B., Salim R. A wind turbine sensorless automatic control systems, analysis, modelling and development of IDA-PBC method. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*. 2020. Vol. 11, No. 1. P. 45–55. DOI: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp45-55.
6. Stock S., Babazadeh D., Becker C. Applications of Artificial Intelligence in Distribution Power System Operation. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 150098–150119.
7. Zhao Q., Garcia-Gonzalez J., Garcia-Cerrada A., Renedo J., Rouco L. HVDC in the Future Power Systems. *Transmission Expansion Planning: The Network Challenges of the Energy Transition*. 2020. P. 117–151. DOI: 10.1007/978-3-030-49428-5_6.
8. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Khoruzhevskiy H. Study of energy parameters in alternative power source microgrid systems with multilevel inverters. *International scientific journal «Industry 4.0»*. 2020. Vol. 5, Issue 3. P. 118–121.
9. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Mykhalkiv S., Ravlyuk V. A method for calculating the parameters of the sine filter of the frequency converter, taking into account the criterion of starting current limitation and pulse-width modulation frequency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1, No. 8 (109). P. 6–16. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225327.
10. Falani S., Gonzalez M., Barreto F., Toledo J., Torkomian A. Trends in the technological development of wind energy generation. *International Journal of Technology Management & Sustainable Development*. 2020. Vol. 19. P. 43–68. DOI: 10.1386/tmsd_00015_1.
11. Ohya Y., Karasudani T., Nagai T., Watanabe K. Wind lens technology and its application to wind and water turbine and beyond. *Renew. Energy Environ. Sustain*. 2017. Vol. 2. P. 1–6. DOI: 10.1051/rees/2016022.
12. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Control and accounting of parameters of electricity consumption in distribution networks. *2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*. 2021. P. 114–117. DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610907.
13. Alhaji Hassan F., Alali Ch., Gainullina L. Increasing the efficiency of wind farms. *iPolytech Journal*. 2022. Vol. 26. P. 217–227. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-2-217-227.
14. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Syniavskiy A. V., Philipjeva M. V. Use of modern technologies in the problems of automation of data collection in intellectual power supply systems. *Modern engineering and innovative technologies*. 2022. Issue 19, Part 1. P. 38–51. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-19-01-058.
15. Torres-Madronero J. L., Alvarez-Montoya J., Restrepo-Montoya D., Tamayo-Avendano J. M., Nieto-Londono C., Sierra-Perez J. Technological and operational aspects that limit small wind turbines performance. *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 22, 6123. DOI: 10.3390/en13226123.

В. П. Нерубацький¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4309-601X

Д. А. Гордієнко¹, аспірант., ORCID 0000-0002-0347-5656

¹Український державний університет залізничного транспорту

АНАЛІЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ УСТАНОВКОЮ, ПІДКЛЮЧЕНОЇ ДО МЕРЕЖІ ЗМІННОГО СТРУМУ

Представлено динаміку розвитку альтернативних джерел живлення за останні декілька десятиліть, що дає підстави говорити про тенденції подальшого розвитку вітрової енергетики. Приведено аналіз структур та технічних характеристик вітрових генераторів, а саме типи електричних двигунів, силові схеми напівпровідникових перетворювачів, що забезпечують генерацію електричної енергії до загальнопромислової електричної мережі. Розглянуто питання можливості роботи вітрових генераторів в широких діапазонах вітру, питання емісії реактивної потужності та вищих гармонік струмів до загальнопромислової електричної мережі, а також питання ККД різних структур вітрогенераторів. Запропоновано систему керування вітровою турбіною з асинхронним генератором. Наведено дослідження перехідних процесів керування та енергетичної сумісності вітроустановки повного перетворення енергії з мережею живлення шляхом імітаційного комп'ютерного моделювання в програмному середовищі Matlab/Simulink. Отриманий результат вказує на можливість роботи асинхронного генератора з короткозамкненим ротором у складі вітроустановки, що дає змогу віддавати потужність до мережі змінного струму при низьких швидкостях вітру.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, асинхронний генератор, вітрова турбіна, вітроенергетика, електростанція, система керування.

Надійшла 15.11.2022

Received 15.11.2022

В.В. Михайленко¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-0973-4612

В.А. Святненко¹, старший викладач, ORCID 0000-0002-0518-1045

Ю.М. Чуняк¹, асистент, ORCID 0000-0002-4506-912X

О. В. Петрученко¹, старший викладач, ORCID 0000-0002-4982-4217

О. А. Гераскін¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-4651-4579

К.В. Трубіцин¹, старший викладач, ORCID 0000-0002-2923-1860

М.В. Ковалевський¹, студент, ORCID 0009-0002-4562-6720

¹Національний технічний університет України

”Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДВАДЦЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ І АКТИВНО- ІНДУКТИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету *MATHECAD* для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами.

У цій статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах напівпровідниковими з комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів в напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах. Стаття присвячена розвитку метода багатопараметричних функцій шляхом розробки нових математичних моделей та визначення функцій і алгоритмічних рівнянь для аналізу за підсистемними складовими електромагнітних процесів у розгодулджених електричних колах з напівпровідниковими комутаторами і ланками з синусоїдальними, постійними і імпульсними напругами. Напівпровідникові коммутатори можуть виконувати високочастотне змінення структури електричних кіл і широтно-імпульсну модуляцію фазних і лінійних напруг трифазної мережі електроживлення, виконуючи регулювання вихідних напруг напівпровідникових перетворювачів параметрів електричної енергії.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, багатопараметричні модулюючі функції, напівпровідникові комутатори, моделювання.

Дослідження використання електричної енергії і розвиток перетворювальної техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. Удосконалення техніки дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. В тих випадках, коли за вимогами навантаження необхідно забезпечити його гальванічну розв'язку з енергетичною мережею при багатозонному регулюванні вихідної напруги, в якості проміжних структур доцільно використовувати структури перетворювачів частоти з однократною модуляцією (ПЧ з ОМ). У [1-3] показана доцільність використання структур ПЧ з ОМ в діагностичних комплексах електромеханічних систем для побудови вторинних джерел живлення з різним видом вихідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз використання тієї ж структури в якості ланки високої частоти перетворювачів трифазної напруги в постійну напругу при підключенні силових модуляторів (СМ) до фазних проводів енергетичної мережі і широтно-імпульсним регулюванням (ШПР) постійної напруги при в'єзмизонному керуванні. Таке з'єднання дозволяє покращити форму вхідних струмів перетворювача за рахунок відсутності в них гармонік, які кратні трьом.

Схема перетворювача показана на рисунку 1. На цій схемі позначені: СМ_А, СМ_В, СМ_С – силові модулятори відповідних фазних напруг, сукупність яких представляє собою ланку високої частоти перетворювача, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження. Кожний з СМ складається з *N* інверторів випрямленої напруги (ІВН), які включені енергетичними входами паралельно і навантажені на узгоджувальні трансформатори (Т_В), з'єднані вторинними обмотками послідовно.

При складанні математичної моделі перетворювача з комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень фазних напруг трифазної енергетичної мережі, частоти ω_1 , відповідними еквівалентними модулюючими

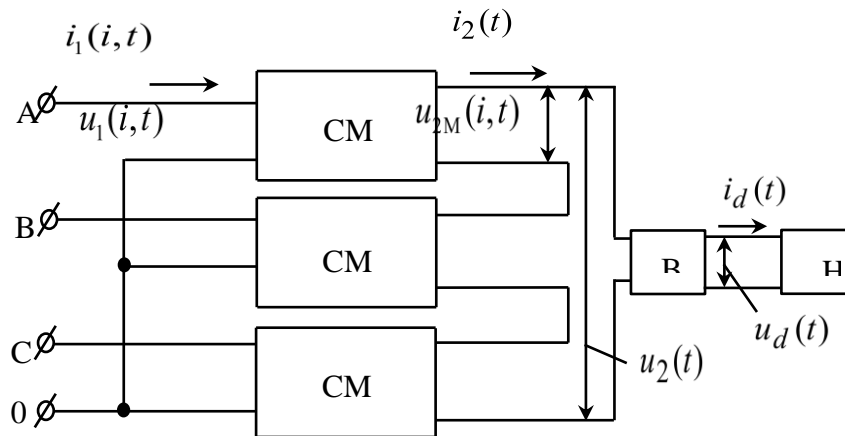


Рисунок 1. Схема перетворювача

впливами $\psi(\alpha_p, t)$, частоти ω_2 . В результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2M}(p, i, t) = \frac{1}{k_T} u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(\alpha_p, t), \quad (1)$$

де: $i = 1, 2, 3$ – номери фазних напруг енергетичної мережі, відповідно A, B, C ; k_T – коефіцієнти трансформації узгоджувального трансформатора; $P = 1, 2, 3, \dots, n$ – номер зони регулювання вихідної напруги, збігається з номером інвертора СМ; $\phi(i, t)$ – функції прямокутних синусів, які співпадають за положенням в часовій області з відповідними фазних напругами мережі:

$$\phi(i, t) = \text{sign} \left\{ \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right\}; \quad (2)$$

де: $u_1(i, t)$ – миттєві значення фазних напруг енергетичної мережі:

$$u_1(i, t) = U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right); \quad (3)$$

U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги.

Еквівалентні модулюючі впливи подамо виразом

$$\psi(\alpha_p, t) = \frac{1}{2} \sum_2 \text{sign}(\sin(\omega_2 t \pm \alpha_p(t) - \Phi)) \quad (4)$$

де $\alpha_p(t)$ – кути управління, за рахунок зміни яких забезпечується ШПР вихідної напруги перетворювача; Φ – початкова фаза еквівалентних модулюючих впливів.

При багатозонному регулюванні вихідної напруги перетворювача забезпечується почергово зміна кутів управління в діапазоні від 0 до 90°. Умови зміни кутів управління у окремих зонах подамо у вигляді:

$$\alpha_p(t) = 0, \text{ якщо } t < \frac{(p-1)T}{N=20}; \quad \alpha_p(t) = 180^\circ, \text{ якщо } t > \frac{pT}{N=20}, \text{ а інакше } \alpha_p(t) = f_\mu(p, 20, t), \text{ де } f_\mu(p, 20, t) \text{ – функція, яка задає закон зміни } \alpha_p(t), \text{ яка залежить від номера зони } p \text{ і їх кількості}$$

Вихідну напругу $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача, згідно з його структурною організацією і з виразом (1), запишемо сумою

$$u_2(t) = \sum_{p=1}^{N=20} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_T} u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(\alpha_p, t) \quad (5)$$

а вихідну напругу перетворювача $u_d(t)$ як випрямлену напругу (6) подамо виразом

$$u_d(t) = \sum_{p=1}^{N=20} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_T} u_1(i,t) \phi(i,t) \psi(\alpha_p, t) v(t) \quad (6)$$

де: $v(t)$ – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням вихідної напруги ланки високої частоти перетворювача $u_2(t)$

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)) \quad (7)$$

Часові діаграми вихідних напруг IBH $u_{2M}(p, i, t)$, ланки високої частоти $u_2(t)$ і перетворювача $u_d(t)$, побудовані за (5) і (6) при зміні величини кута управління α_p по лінійному закону в координатах від часу t , подані на рис. 3.

Для більш детального аналізу вихідної напруги перетворювача в (5) позначимо $u_1(i, t) \phi(i, t) = |u_1(i, t)|$ і, враховуючи (3) та (4), а також те, що в (6) $\psi(\alpha_p, t) v(t) = |\psi(\alpha_p, t)|$, алгоритмічне рівняння перепишемо у вигляді

$$u_d(t) = \frac{1}{2k_T} \sum_{p=1}^{N=20} \left(\sum_{i=1}^3 \left| U_{1m} \sin(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right| \left| \sum_2 \sin n(\omega_2 t \pm \alpha_p(t) - \phi) \right| \right) \quad (8)$$

Струм навантаження знайдемо, як реакцію одноконтурного RL -ланцюга на дію напруги (6). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо в виді

$$D(t, y) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0 \quad (9)$$

де: y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (9) відносно струму навантаження визначимо числовим методом у вигляді матриці

$$i_d(t) = \text{rkfixed}(y, 0, k, s, D) \quad (10)$$

де: y – вектор початкових умов; $0, k$ – часовий інтервал рішення; s – кількість точок на часовому інтервалі рішення; D – вектор функція диференціальних рівнянь.

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача для двадцятизонного регулювання представлені на рисунку 2.

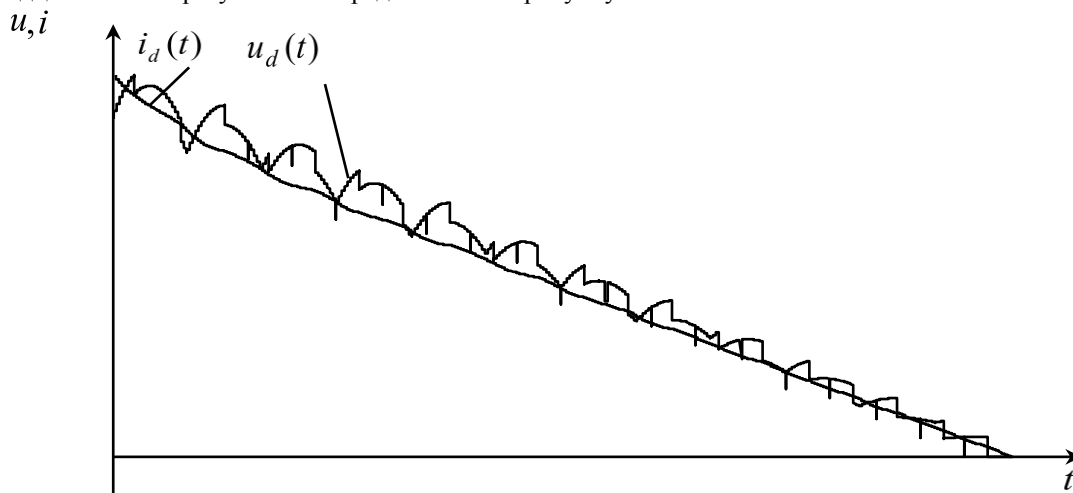


Рисунок 2. Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача

Враховуючи ту обставину, що на інтервалах нульових пауз (7) струм навантаження підтримується в контурі навантаження і діодів ВВ за рахунок енергії, яка запасасться в індуктивності за попередні цикли роботи перетворювача і з енергетичної мережі не споживається, то для визначення вихідного струму $i_2(t)$

ланки високої частоти достатньо (10) перемножити на функцію (7), що має одиничну амплітуду і співпадає за часом з (6). Тоді

$$i_2(t) = i_d(t)v(t) \quad (11)$$

Для визначення вхідних струмів інверторів кожної p -ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ, утвореному послідовно з'єднаними вторинними обмотками узгоджувальних трансформаторів і прийемо до уваги алгоритмічне рівняння (6) і те, що (2), (4) і (7) є функціями одиничної амплітуди.

При цьому у загальному виді

$$i_1(n, i, t) = \frac{i_2(t)\psi(\alpha_p, t)\phi(i, t)}{k_T} \quad (12)$$

Для визначення вхідних СМ у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги підсумуємо вхідні струми відповідних ІВН. Враховуючи (12), загальний вираз для вхідних струмів СМ подамо у вигляді

$$i_1(i, t) = \sum_{p=1}^{N=20} i_1(p, i, t), \quad (13)$$

де: $i_1(p, i, t)$ – вхідні струми ІВН.

Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (13), представлені на рисунку 3.

Таким чином, приведені результати досліджень показують ефективність подання математичної моделі перетворювача відносно напруги навантаження, струму навантаження і струмів, що споживаються з вхідної мережі узагальнюючими функціями багатопараметричного виду. Узагальнюючі функції багатопараметричного виду ефективні і для інших перетворювачів модуляційного типу.

Дослідження показують ефективність використання багатопараметричних модулюючих функцій для моделювання і розрахунку електромагнітних процесів у розгалужених електричних колах напівпровідникових перетворювачів з багатозонним високочастотним широтноімпульсним регулюванням їхньої вихідної напруги при живленні RL-навантаження.

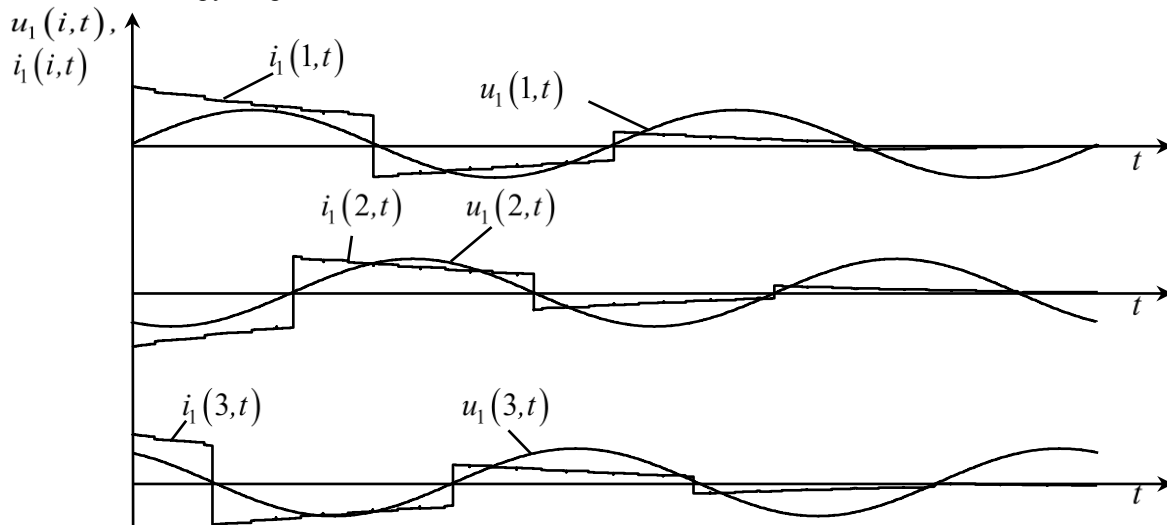


Рисунок 3. Часові діаграми вхідних струмів та напруг i -х фаз енергетичної мережі

Висновки

На основі досліджень можна зробити висновок, що доцільно використовувати програмний пакет MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Список літератури

1. Mykhailenko V, Mikhnenko, G., Charnyak O., "Study of the electromagnetic processes in converter with three zoned regulations of the voltage", Адаптивні системи автоматичного управління, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, №2, 2019, С. 48-53, doi: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.35.2019.197430>.

2. Розіскулов С. С., Михайленко В. В., Перетятко Ю. В., “Регулювання тривалості перехідних процесів у напівпровідникових формувачах біполярних розрядних імпульсних струмів”, Технічна електродинаміка, Київ: ІЕД НАНУ, № 4, 2016, С. 41 – 43, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.041>.

3. Сенько В. І., Михайленко В. В., Юрченко М. М., Юрченко О. М., Чуняк Ю. М., “Аналіз електромагнітних процесів у колах з напівпровідниковими перетворювачами з сімнадцятизонним регулюванням вихідної напруги”, Технічна електродинаміка, Київ: ІЕД НАНУ, № 5, 2016, С. 23 – 25, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.023>.

V. Mihaylenko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-0973-4612

V. Svyatnenko¹, senior teacher, ORCID 0000-0002-0518-1045

J. Chunya¹, assistant teacher, ORCID 0000-0002-4506-912X

O. Petruchenko¹, senior teacher, ORCID 0000-0002-4982-4217

O. Geraskin¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-4651-4579

K. Trubitsyn¹, senior teacher, ORCID 0000-0002-2923-1860

M. Kovalevskiy¹, student, ORCID 0009-0002-4562-6720

¹National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS OF PROCESSES IN CONVERTER WITH TWENTY-ZONE VOLTAGE REGULATION AND ACTIVE-INDUCTIVE LOAD

Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The brought graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. Method much parametric functions was used when performing calculation. The mathematical model of the converter is created for fifteen zoned regulations of the output voltage. Article is devoted to the development of a method of multi-parametric modulating functions by means of working out of new mathematical models and definition of functions and the algorithmic equations for the analysis on subsystem components of electromagnetic processes in electric circuits of variable structure with sinusoidal, direct and pulsing voltage. Introduction of functions with discrete parameters in the algorithmic equations for analysis of processes in circuits with semiconductor commutators simplifies modeling on subsystem components. The mathematical model of steady-state processes and transients in electric circuits of semiconductor converters of modulation type with multi-channel zonal use of phase and line voltages of a three-phase network of power supplies is developed. The mathematical model of electric circuits of thyristor shapers of electro-discharge pulses for the analysis and the matching of capacitors charging modes with decrease several times of electric resistance of technological load is also created. The obtained results have a great value for development theoretical electrical engineering in a direction of simplification of calculations of electromagnetic processes in electric circuits with semi-conductor converters of the electric power. The Electromagnetic processes in electric circuit under width-pulse regulation possible to analyse with use the algorithmic equations multivariable function, which argument are a system parameters semiconductor commutator, signal of control, phases to network of the power supply and time. Introduction multivariable function with discrete parameter in algorithmic equations of the analysis formed and connecting processes in electric circuit of the variable structure allows to reflect change of this structure under system components, simplifying modeling and analysis of such processes to account of the generalization of the got equations. Except specified correlations and diagrams designed model allows to analyse forms of the output voltages and current of the separate power modules.

Key words: *electromagnetic processes, output voltage and current, multi parametric modulating functions, semi-conductor commutators, modeling.*

References

1. Mykhailenko V, Mikhnenko, G., Charnyak O., “Study of the electromagnetic processes in converter with three zoned regulations of the voltage”, Adaptive automatic control systems, Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, №2, 2019, P. 48-53, doi: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.35.2019.197430> (Eng.).

2. Roziskulov S. S., Mykhailenko V. V., Peretyatko Y. V., “Regulation of transient duration in semiconductor shapers of bipolar discharge pulse currents, Technical electrodynamics, Kyiv: IED NASU, № 4, 2016, P. 41 – 43, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.04.041> (Ukr.).

3. Senko V. I., Mykhailenko V. V., Yurchenko N. N., Yurchenko O. N., Chunya J. M., “ Analysis of electromagnetic processes in circuits with semiconductor converters with seventeen-zone output voltage regulation”, Technical electrodynamics, Kyiv: IED NASU, № 5, 2016, P. 23 – 25, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.023> (Ukr.).

Надійшла 15.12.2022

Received 15.12.2022

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ КІНЦЕВИХ АВТОМАТІВ ДЛЯ НАГЛЯДУ ЗА РОБОТОЮ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

Мета публікації – розробити методологію представлення агрегату «компресор-синхронний електродвигун напругою 6 кВ» у вигляді кінцевого автомата.

Висунуто гіпотезу, що поведінка компресорної установки може бути асоційована з поведінкою абстрактного детермінованого кінцевого автомата.

Застосована теорія кінцевих автоматів та графів для аналізу роботи компресорної установки на прикладі компресора великотоннажного цеху з виробництва аміаку. Показано, що теорія кінцевих автоматів дозволяє звести воедино усі можливі режими роботи та відключення компресорних установок. Запропоновано кодування причин відключення компресора внаслідок проблем в електричній або механічній частинах компресорної установки. Розроблена діаграма переходів станів для неї. Така діаграма може бути корисна для складання стислого опису та розуміння роботи компресорної установки, підвищення кваліфікації технологічного персоналу при виробничому навчанні, для проведення протиаварійних тренувань тощо.

Проведений графовий аналіз одержаної діаграми. Визначено оптимальний (найбільш сприйнятливий по енергоефективності) маршрут графа.

Запропонована форма скороченого запису циклу роботи компресору та електронного журналу пробігу, що дозволяє розрахувати залишковий ресурс компресорної установки та час роботи компресора до виведення його в ремонт.

Впроваджені методи дозволяють виявити вузькі місця в складному електро- та технологічному устаткуванні промислових підприємств.

Ключові слова: кінцевий автомат, граф, компресорна установка.

Вступ.

В роботі [1] доведено, що модель системи електропостачання (СЕП) промислового підприємства можна представити у вигляді кінцевого автомата

$$M_c = (X, Y, Q, r, s),$$

де X – множина вхідних величин; Y – множина вихідних величин; Q – множина станів; r – перехідна функція; s – вихідна функція.

Кінцевий автомат (КА) в теорії алгоритмів – модель дискретного пристрою, що має один вхід, один вихід і в кожен момент часу знаходиться в одному стані з безлічі можливих [2]. Кінцевий автомат – абстрактна система, яка може перебувати в одному з багатьох певних станів, що належать кінцевій множині. Наступний стан залежить від поточного стану або поточного значення на його входах. Кінцевий автомат завжди повинен мати початковий стан та кінцевий стан. Інші стани повинні завжди мати як мінімум один вихід. Поведінка кінцевого автомата може бути представлена діаграмою станів переходів.

Для опису роботи технологічного агрегату «компресор-електродвигун» може бути застосована теорія кінцевих автоматів.

Мета та задачі. Метою даної роботи є дослідження доцільності представлення агрегату «компресор-електродвигун» у вигляді кінцевого автомата.

Матеріал та результати досліджень.

Одним із головних агрегатів великотоннажного цеху із виробництва аміаку є компресор з стискування синтез-газу, циркуляційного газу і газоподібного аміаку.

В компресорі здійснюється трьохступінчасте стиснення синтез-газу до робочого тиску не більш 32 МПа (320 кгс/см²), а також інших газових середовищ (рисунок 1).

Компресор поз. КМ5+КМ5 представляє собою багатоцільовий, горизонтальний поршневий, циліндровий компресор, на одному валу якого розташовані циліндри синтез-газу першої та другої ступені стискування, а на другому – циліндри третьої ступені стискування синтез-газу, циркуляційного газу і газоподібного аміаку, які працюють від одного двигуна.

Приводом компресора служить синхронний електродвигун напругою 6 кВ потужністю 6780 кВт.

Для захисту компресора від аварійного режиму роботи і забезпечення безпечної експлуатації передбачене блокування, яке відключає головний двигун компресора при пониженні тиску на

всмоктуванні компресорів поз. КМ5+КМ5 до значення 2,0 МПа. Для захисту синхронного двигуна потужністю 6780 кВт від ненормальних і аварійних режимів передбачені наступні види захистів з дією на відключення електродвигуна компресора:

- 1.1 Диференціальний захист електродвигуна (код ANSI 87M).
- 1.2 МТЗ (2 ступені) (код ANSI 51).
- 1.3 Захист від замикань на «землю» (код ANSI 51N).
- 1.4 Захист мінімальної напруги (2 ступені) (код ANSI 27).
- 1.5 Захист від дугових замикань з пуском по напрузі код несправності приймається за Д.
- 1.6 Втрата збудження (код ANSI 40).
- 1.7 Зниження щільності елегазу вимикача з дією на сигнал – SF₆ (код несправності позначається як Е).
- 1.8 Технологічний захист (коди несправності прийняті для зручності за Т1÷Т7).

Є ряд дефектів компресорного агрегату, що призводять до його зупинки при експлуатації та виявляються контрольно-вимірними приладами та автоматикою (зліва вказаний код дефекту):

- | | |
|---|------------------------|
| T1. Зниження тиску синтез-газу на висмоктуванні, менше | 20 кгс/см ² |
| T2. Підвищення температури корінних підшипників колінчатих валів компресора, понад 80 °С. | |
| T3. Пониження тиску мастила, менше | 0,9 кг/см ² |
| T4. Пониження тиску (напору) води на охолодження, менше | 1,0 кг/см ² |
| T5. Зупинка електродвигунів масляних насосів змащування циліндрів та сальників | |
| T6. Підвищення рівня рідкого аміаку в сепараторах, понад | 80%. |
| T7. Зниження температури газоподібного аміаку на нагнітання служби аміаку менше | 70 °С. |

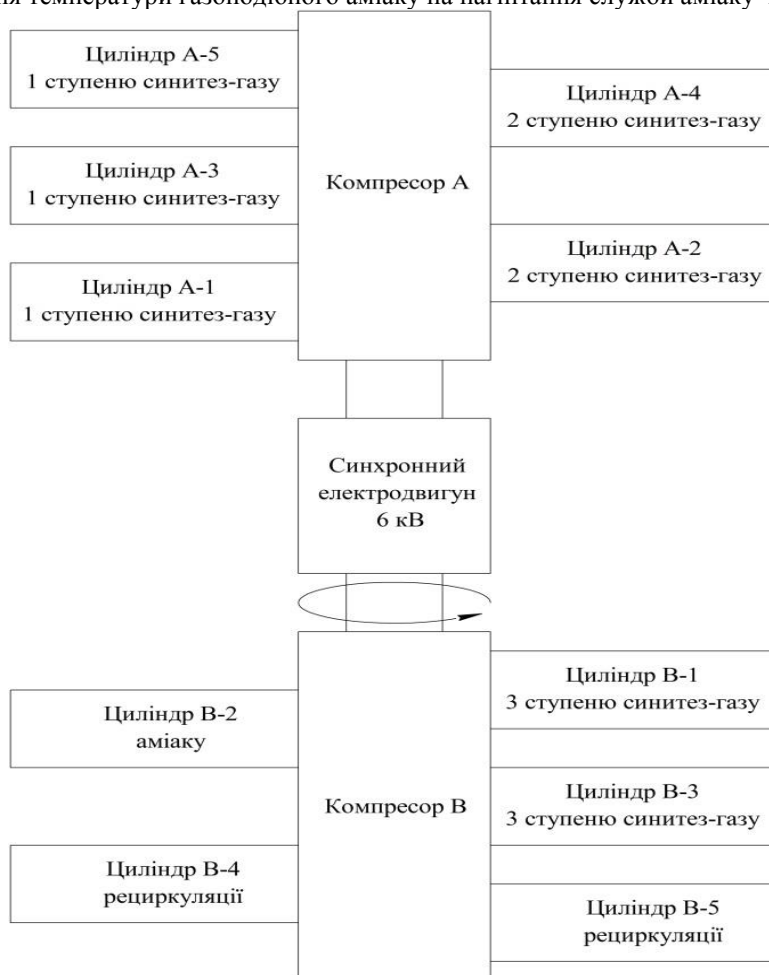


Рисунок 1. Загальне розміщення компресорної установки

Вихід на режим компресора здійснюється в такій послідовності:

1. Перевірка роботи компресора на неробочому ході.
2. Навантаження компресора проводиться шляхом прикриття вентилів, розташованих на байпасних трубопроводах, до повного закриття, а також за допомогою дистанційних динамічних віджимів та камер

постійного та змінного об'єму по всіх трьох службах: синтез-газу; циркуляційному газу; газоподібному аміаку.

3. Регулювання тиску мастила змащування в межах норми.

Випадки, коли компресор вимикають вручну (ключом управління) технологічним персоналом, наведені нижче.

1. Розгерметизація трубопроводів, апаратів, циліндрів компресора (код дефекту 11).
2. Поява диму із сапунів картерів компресора (код дефекту 12).
3. Стукіт в циліндрах компресора (код дефекту 13).
4. Стукіт в клапанах компресора (код дефекту 14).
5. Стукіт у механізмі руху компресора (код дефекту 15).
6. Загорання або задимлення електродвигуна компресора(код дефекту 16).
7. Планове відключення (код ПВ).

Умови нормального пуску компресора наведені на рисунку 2.



Рисунок 2. Умови готовності до пуску компресора

Поведінка компресорної установки може бути асоційована з поведінкою абстрактного детермінованого кінцевого автомата (ДКА).

Для пошуку суворого опису функціонування агрегату «компресор-двигун» визначають дві множини: безліч його допустимих станів і безліч допустимих управляючих впливів, які можуть змінювати стани агрегату. При вивченні властивостей абстрактних автоматів широко використовується теорія графів, оскільки кожному ДКА може бути поставлений у відповідність кінцевий орієнтований зв'язний граф, вершинами якого є стани ДКА, а дуги графа з відповідними назвами представляють команди, що реалізують перехід з початкової вершини у її кінцеву вершину.

Формально поняття ДКА та його графа не вимагають залучення геометричних образів. Проте, як наочним, а й цілком змістовним описом ДКА є діаграма переходів станів, що зображує граф, вершинами якого є стани, а дуги – сприйняті впливи.

Зазвичай перелік станів (вершин) графу зводиться до наступного списку:

1. Початковий стан - Компресор вимкнений.
2. Компресор відключений та готовий до включення.
3. Запуск компресора в роботу.

4. Вихід на режим.
 5. Кінцевий стан – Компресор працює в нормальному режимі.
- Дугами направлено графу є такі процеси або події:
- 1-2. Підготовчі операції.
 - 2-3. Вмикання електродвигуна в роботу.
 - 3-4. Збільшення навантаження на електродвигун.
 - 4-5. Зростання продуктивності компресора.
 - 4-а-1. Відключення компресора технологічним захистом.
 - 4-б-1. Відключення компресора електричним захистом.
 - 4-в-1. Відключення компресора технологічним персоналом.
 - 5-а-1. Відключення компресора технологічним захистом.
 - 5-б-1. Відключення компресора електричним захистом.
 - 5-в-1. Відключення компресора технологічним персоналом.

Діаграмне представлення у вигляді графа ДКА дозволяє легко встановити можливість тієї чи іншої допустимої послідовності дій оператора та/або сигналів дистанційного керування. Крім того, на діаграмі, якщо вона досить повно відображає всі можливі стани, можна виявити взагалі всі можливі послідовності команд та перевірити факт неприпустимості тієї чи іншої послідовності команд.

Діаграма переходів станів є структурою, що включає зображення станів, що з'єднуються дугами, що показують події для переходу у новий стан (допустимі переходи). На рисунку 3 показано діаграма переходів станів для системи, що складається з одного автоматичного вимикача напругою до 1000 В, що має два стани: On (Увімкнено) – зображено вверху та Off (Вимкнено) зображено внизу та вказує події для переходу до нового стану. Діаграма переходів станів містить: зображення станів, які подаються у вигляді кіл; дуги, що з'єднують стани (допустимі переходи) та позначення, нанесені поруч із дугою, які описують події, настання яких викликає перехід (позначення переходу). Switch up – включити та Switch down – виключити.

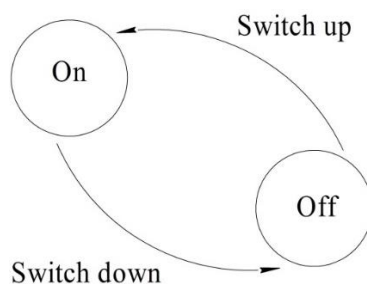


Рисунок 3. Діаграма переходу станів автоматичного вимикача

Більш складну діаграму переходів станів компресорної установки представлено на рисунку 4.

Компресорна установка, що нормально функціонує, не змінює свій стан невизначено. Це означає, що певний вплив або сигнал переводить її із заданого стану в один певний (інший або той самий) стан, але не може перевести в два або більше різних стани. Число станів установки обмежено. Перехід може відбуватися як при певному впливі, так і спонтанно без зовнішнього впливу при потраплянні в деякі певні стани.

Така діаграма може бути корисна для складання стислого опису та розуміння роботи компресорної установки, підвищення кваліфікації технологічного персоналу при виробничому навчанні, для проведення протиаварійних тренувань.

Використання теорії КА дозволяє провести кодування циклів роботи компресорних установок та ввести скорочений запис, який дозволяє контролювати надійність та економічність їх роботи.

Нормальна робота установки продемонстрована в таблиці 1

Таблиця 1 Види короткого запису нормальної роботи компресорної установки

Час, що займає операція	10 хв.	<1 сек	5 сек	5 хв	1 сек
Дуги графу	1-2	2-3	3-4	4-5	5-в-1
Назва процесу або події	Підготовчі операції	Включення електродвигуна в роботу	Збільшення навантаження на електродвигун	Зростання продуктивності компресора	Планове відключення
Код причини зупинки					ПВ



Рисунок 4. Діаграма переходів станів компресорної установки

Приклад короткого запису ненормальної роботи установки продемонстрований в табл. 2.

Таблиця 2. Приклад короткого запису ненормальної роботи компресора

Час, що займає операція	10 хв.	<1 сек	5 сек	5 хв.	<1 сек
Дуги графу	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6-1
Назва процесу або події	Підготовчі операції	Включення електродвигуна в роботу	Збільшення навантаження на електродвигун	Зростання продуктивності компресора	Відключення електричним захистом
Код зупинки					87М

Часом, що займають пускові операції, можна знехтувати для визначення мотогодин компресора. Доцільно для кожного агрегату вести електронний журнал, наприклад, у такому вигляді (табл. 3):

Таблиця 3. Форма електронного журналу пробігу компресорів

Час включення T_1 (дата, година)	Час відключення T_2 (дата, година)	Причина відключення	Загальний час роботи компресора T в циклі, годин	Примітка
1	3	2	4	5
01.08.2017 9 ⁰⁰	25.08.2017 17 ⁰⁰	ПВ	608	25x24+8=608
01.09.2017 9 ⁰⁰	02.09.2017 12 ⁰⁰	87М	27	24+3=27

Якщо T_2 та T_1 були в одну й ту ж саму добу, то $T = T_2 - T_1$. Якщо включення компресора та відключення були в різні доби, то $T = 24 - T_1 + T_2 + 24n$, де n – кількість діб між добою, коли був включений компресор та добою, коли був вимкнений [3].

Таким чином, можливо використати скорочений запис станів компресора та теорію кінцевих автоматів для визначення залишкового ресурсу компресора до ремонту та визначення дати поточного ремонту.

Теорія кінцевих автоматів дозволяє з мінімальним об'ємом інформації звести воедино усі можливі режими роботи та відключення компресорних установок. Якщо в процесі беруть участь декілька однакових за типом компресорних установок, то є можливість порівнювати їх ефективність за допомогою короткого запису та електронного журналу пробігу.

Проведем графовий аналіз [4] графа, зображеного на діаграмі переходів станів на рис. 4. За допомогою такого аналізу досліджується структура графа та виявляються неочевидні залежності, складається оптимальний маршрут обходу графа з урахуванням енергоефективності роботи установки, по якій складено діаграму станів переходів.

Згідно теорії графів на рисунку 4 зображений орієнтований, циклічний граф з кратними дугами без петель. Аналіз роботи як компресорних, так і насосних установок доводить, що графічне зображення діаграми переходів їх станів є мультиграфом.

Округа (околиця) вершин по входам та виходам:

$$\Gamma_1^- = \{2\}, \Gamma_1^+ = \{4, 5\}, \Gamma_2^- = \{3\}, \Gamma_2^+ = \{1\}, \Gamma_3^- = \{4\}, \Gamma_3^+ = \{2\}, \Gamma_4^- = \{1, 5\}, \Gamma_4^+ = \{3\},$$

$$\Gamma_5^- = \{1\}, \Gamma_5^+ = \{4\}. \text{Вершини 2 та 3 є регульованими.}$$

Визначаються ступені вершин графу ρ , напівступені виходу ρ^- та знаходження ρ^+ .

$$\rho_1^- = 1, \rho_1^+ = 6, \rho_1 = 7; \rho_2^- = 1, \rho_2^+ = 1, \rho_2 = 2; \rho_3^- = 1, \rho_3^+ = 1, \rho_3 = 2; \rho_4^- = 4, \rho_4^+ = 1, \rho_4 = 5; \\ \rho_5^- = 3, \rho_5^+ = 1, \rho_5 = 4.$$

Матриця суміжності графа має вигляд:

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Матриця інцидентності має такий вигляд:

$$\begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}$$

Стовпчики 5, 6, 7 та 8, 9, 10 є кратними. Це свідчить, що вершини 2 та 3 є регульованими.

Список дуг має вигляд:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 4 & 5 & 5 & 5 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

Оптимальний маршрут графу з точки зору енергоефективності є такий, коли компресор виходить на режим, потім нормально працює в штатному режимі та вимикається ключом керування технологічним персоналом після тривалої роботи. Це маршрут графа, який з'єднає вершини 1-2-3-4-5-в-1. При цьому час роботи компресора повинен бути якнайдовшим.

Висновки

1. Вперше розроблена модель компресорної установки у вигляді абстрактного детермінованого кінцевого автомату.

2. Представлено схему роботи компресорних установок великотоннажного цеху аміаку у вигляді діаграми переходів стану, що дає можливість стисло, з мінімальним об'ємом інформації звести воедино усі можливі режими роботи та можливі причини аварійних зупинок компресорних установок, порівнювати ефективність декількох однакових за типом та потужністю компресорних установок, використовувати ці діаграми для навчання та підвищення кваліфікації технологічного персоналу хімічних виробництв.

3. З метою підвищення надійності та економічності роботи компресорних установок запропоновано провести кодування циклів їх роботи та ввести скорочений запис про їх пробіг, що дозволяє контролювати

залишковий ресурс кожного компресора та визначити термін проведення його ремонту. Такий захід доцільно поширити на інші технологічні агрегати.

4. Проведений графовий аналіз діаграми переходів станів компресорних установок, який дозволяє дослідити структуру графа у вигляді діаграми переходів стану, скласти оптимальний маршрут обходу графа з урахуванням енергоефективності роботи компресорної установки.

Список літератури

1. Винославский В. Н., Тарадай В. И., У. Бутц, Д. Хайнце Автоматизация проектирования систем электроснабжения. – К.: Высшая школа, Главное изд-во, 1988. – 208 с.
2. Kai Wang, Wanqing Li, Application of Electrical Automation Technology in Power System. Journal of Power and Energy Engineering – Vol.7, No.5, May 21, 2019. – P. 8-13.
3. Войтов Д. В. Створення систем моніторингу компресорних установок / Д.В. Войтов, А.В. Панов // Промелектро. – 2009. – № 5. – С. 41 – 44.
4. F. Harary, Graph Theory, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 1969. – P. 288.

A. Voloshko¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-6857-2060

Ya. Bederak², Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-2669-0965

V. MOROZ², engineer

¹National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

²Private joint stock company “AZOT” Cherkasy city

USE OF THE THEORY OF FINITE AUTOMATA

FOR SUPERVISION OF THE OPERATION OF THE COMPRESSOR UNIT

The purpose of the publication is to develop a methodology for presenting the unit "6 kV compressor-synchronous electric motor" in the form of a finite state machine.

It is hypothesized that the behavior of the compressor unit can be associated with the behavior of an abstract deterministic finite state machine.

The theory of finite state machines and graphs is applied to analyze the operation of a compressor installation using the example of a compressor of a large-tonnage shop for the production of ammonia. It is shown that the theory of finite state machines allows combining all possible modes of operation and shutdown of compressor units. Coding of reasons for compressor shutdown due to problems in the electrical or mechanical parts of the compressor unit is proposed. A diagram of state transitions has been developed for it. Such a diagram can be useful for compiling a concise description and understanding of the operation of a compressor unit, advanced training of technological personnel during industrial training, for emergency training, etc.

A graphical analysis of the obtained diagram was carried out. The optimal (most perceived in terms of energy efficiency) route of the graph is determined.

The proposed form of abbreviated recording of the compressor operation cycle and the electronic mileage log, which allows you to calculate the remaining resource of the compressor installation and the compressor operation time.

The implemented methods make it possible to identify bottlenecks in the complex electrical and technological equipment of industrial enterprises.

Keywords: finite state machine, graph, compressor unit.

References

1. Vinoslavskii V.N., Taraday V.I., U. Butz, D. Xajnze. Avtovatuzaziya proektirovaniya system elektrosnajemiya. – K. Visshaya shkola, Glavnoe izd-vo. – 1988. – 208 s.
2. Kai Wang, Wanqing Li, Application of Electrical Automation Technology in Power System. Journal of Power and Energy Engineering – Vol.7, No.5, May 21, 2019. – P. 8-13.
3. Voytov D.V. Stvorenyya system monitoringu kompresornih ustanovok/D.V. Voytov, A.V. Panov//Promelektro. – 2009. -# 5. – S. 41 – 44.4. F. Harary, Graph Theory, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 1969. – P. 288.
4. F. Harary, Graph Theory, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 1969. – P. 288.

Надійшла 18.11.2022

Received 18.11.2022

ЕНЕРГОЩАДНА АДАПТАЦІЯ ВІБРОУДАРНОГО КОВША МАНІПУЛЯТОРА ДО ЗМІННИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Робота присвячена дослідженню віброударного ковша маніпулятора - екскаватора чи прохідницького щита, з енергоощадною адаптацією до характеристик робочого середовища для застосування в будівельній та гірничодобувній промисловості. В статті запропоновано алгоритм оптимального керування елементом віброударного ковша - віброударним пристроєм з використанням обмежень по силі опору різанню та енергії удару. Визначено діапазон функціонування віброударного пристрою з встановленням оптимальної області ввімкнення пристрою, в залежності від змінних характеристик робочого середовища, з використанням інтегральної характеристики - сили опору різанню ґрунта, яка, в свою чергу, залежить від кута повороту ковша маніпулятора та характеристики щільності ґрунта за числом ударів ударника ДорНДІ. Встановлені критичний рівень сили статичного різання ґрунтів екскаватором IV розмірної групи українського виробництва та критерій переходу процесу різання з статичного в динамічний режим в залежності від змінних характеристик робочого середовища. Наведені енергетичні характеристики адаптивного віброударного ковша маніпулятора. Рекомендовано впровадження віброударного ковша в промислове виробництво України.

Ключові слова: адаптація, маніпулятор, оптимізація, сила різання, віброударний ковш, пневмоаккумулятор, енергія удару.

Вступ. Гірничодобувна промисловість та будівництво є основними сферами застосування маніпуляторів з ковшовими робочими органами. В більшості - це гідравлічні екскаватори та прохідницькі щити. Під час руйнування ґрунтів важливі адекватне реагування системи керування на змінні характеристики робочого середовища та адаптація для них енергетичних параметрів маніпулятора. Застосування ковшів та віброударних пристроїв з автоматизацією функціонування дозволяє знизити енергозатрати на руйнування гірських порід та міцних ґрунтів з адаптацією до їх характеристик [1].

Мета та завдання. Визначення оптимального діапазону адаптивного ввімкнення віброударного режиму функціонування маніпулятора шляхом встановлення характеристик робочої зони з урахуванням сили опору різанню та енергії одиночного удару в залежності від траєкторії руху ковша та категорії щільності ґрунта за числом ударника ДорНДІ.

Матеріал і результати дослідження. Комбінуванням взаємодії статичного та динамічного режимів руйнування гірських порід та міцних ґрунтів можливе досягнення оптимального регулювання енергетичних параметрів робочих органів машин з адаптацією до умов робочого середовища. При цьому алгоритм керування елементом віброударного ковша - віброударним пристроєм, наприклад, за допомогою електрогідроприводу з блоком керування та адаптації (рис. 1) повинен забезпечити оптимальний діапазон регулювання енергії удару:

$$L_{opt}(t) = \arg \max_{u \in Q} \tilde{Q}[L/I(t)], \quad (1)$$

де Q - задана область допустимих сигналів керування енергією ударів за співвідношенням величини вкорінення u інструмента віброударного пристрою в ґрунт в залежності від опору вибою; $I(t)$ - наявна на поточний момент часу апостеріорна інформація про характер зміни тиску в пневмоаккумуляторі (за допомогою датчика тиску) в процесі руйнування ґрунту в проміжку часу (t_0, t) ; $\tilde{Q}[L/I(t)]$ - прогноз (оцінка) в момент t значення параметрів, з виробленням блоком керування та адаптації сигналів керуванням пуском і зупинкою віброударного пристрою.

Сила опору різанню ґрунта, як узагальненої (інтегральної) характеристики робочого середовища, при кутовому переміщенню ковша (рисунок 1) визначається залежністю [2]:

$$Rt(C, \varphi) = 10 \cdot C \cdot (1 + 2,6 \cdot L) \left(1 - 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \right) \cdot Z \cdot \left\{ r_k \left[\cos(\varphi_0 - \varphi) - \varphi_0 \right] \right\}^{1,35}, \text{ кН} \quad (2)$$

де $r_k = 1,25$ м - радіус ковша ємністю $0,65 \text{ м}^3$; $\varphi_0 = 75^\circ$ ($1,309$ рад.) - половина кута, який характеризує параметри вибою при повному заповненні ковша породою за один поворот, C - характеристика щільності

грунта за числом ударів ударника ДорНДІ, $L=1,2$ м - ширина ковша, $\alpha=50^\circ$ - кут різання, $Z=0.65$ - коефіцієнт який залежить від довжини горизонтального профілю та інших технологічних параметрів [2], φ, φ_0 - геометричні параметри (рис. 1).

За рівнянням (2) визначена характеристика сили опору різанню R_t , в залежності від кута повороту ковша та числа ударів ударника ДорНДІ (рисунок 2).

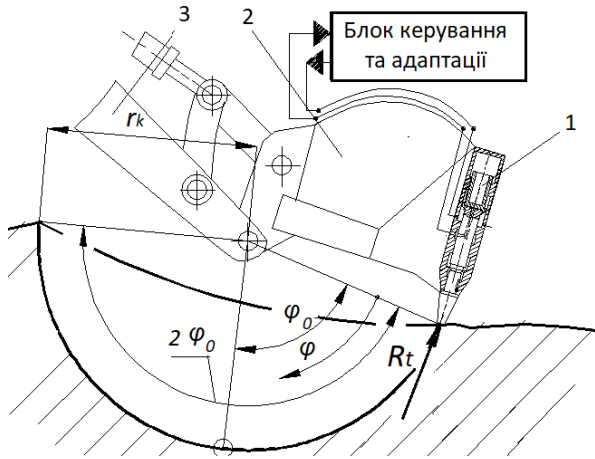


Рисунок 1 –Схема установки віброударного ковша: 1 – віброударний пристрій; 2- ковш; 3 – елемент маніпулятора

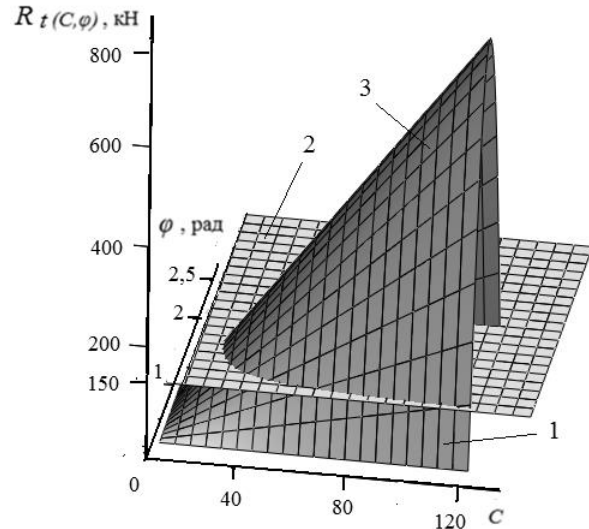


Рисунок 2 –Графік залежності сили опору різанню з обмеженням зон функціонування: 1- зона статичного процесу різання; 2- розділення зон різання генераторними спроможностями маніпулятора; 3- зона запуску динамічного процесу ввімкненням віброударного пристрою ковша

Генераторні спроможності маніпулятора характеризуються можливостями гідрокінематики з реалізацією максимальної сили різання. Наприклад, для екскаватора АТЕК-881 (Україна) обмеження сили різання відображено в технічній документації на екскаватор величиною 150кН [3].

На рис. 3 наведені окремі характеристики сил опору різанню в залежності від кута різання для різних значень числа ударів ударника ДорНДІ статичного різання та обмеження сили різання за генераторними спроможностями маніпулятора.

З характеристик (рис. 2, 3) випливає, що екскаватор АТЕК-881 спроможний ефективно працювати в грунтах I – IV категорій не мерзлих ґрунтів [1].

Для ефективного руйнування не мерзлих ґрунтів вище IV категорії та мерзлих ґрунтів з переміщенням зубця ковша в ґрунті на величину u необхідна енергія зарядки пневмоакумулятора $L(C, \varphi) = u \cdot R_t(C, \varphi) / k_e$, де k_e – коефіцієнт, який враховує втрати енергії в процесі розгону бойка віброударного пристрою на удар.

Для значення $C=40$ та переміщення $u=0.001$ м і $k_e=0,9$ визначена необхідна характеристика енергії зарядки пневмоакумулятора $L(\varphi)$, що відповідає процесу ефективного руйнування ґрунту вище IV категорії за числом ударів ударника ДорНДІ (рис.4).

За умови стиснення газу в камері пневмоакумулятора, наприклад, переміщенням поршня пневмоакумулятора з площею торцевої частини S_n , що зменшує камеру пневмоакумулятора за рахунок переміщення поршня на величину x та при показнику політропи n , початковому об'ємі камери пневмоакумулятора V_0 , тиску початкової зарядки пневмоакумулятора p_0 , ступінь стиснення газу $e(x)$ та енергія зарядки пневмоакумулятора $L(x)$ визначаються залежностями [4]:

$$e(x) = p(x) / p_0 = \left(\frac{V_0}{V_0 - S_n \cdot x} \right)^n; \tag{3}$$

$$L(x) = \frac{p_0 V_0}{n-1} \left(e(x)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right).$$

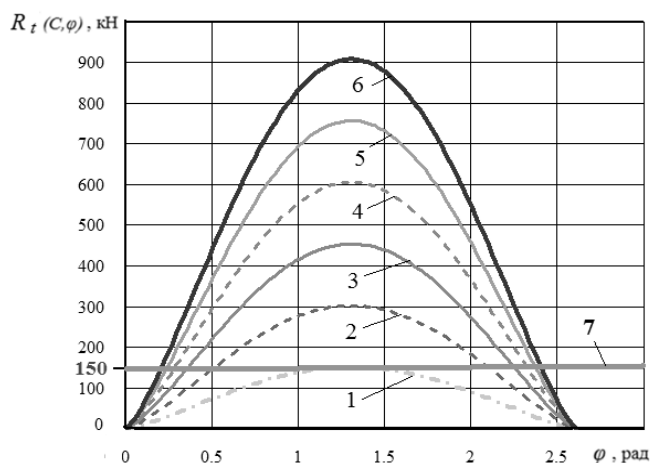


Рисунок 3 – Окремі характеристики залежностей сил опору різанню від кутового переміщення ковша та, для позицій 1...6 від числа ударів ударника ДорНДІ відповідно 20, 40, 60, 80, 100, 120;

7 – обмеження за генераторними спроможностями маніпулятора сили різання в 150 кН

Важливим є забезпечення низького ступеню стиснення газу в пневмоакумуляторі в межах до $e(x) \leq 2,0$, що зменшує вплив теплового режиму функціонування на показник політропи n .

У відповідності до вимог реалізації необхідної енергії зарядки пневмоакумулятора (рис.3) за залежностями (3) встановлені раціональні параметри віброударного пристрою: $p_0=1,8$ МПа; $n=1,3$; $V_0=6,77 \cdot 10^{-4}$ м³; $S_n=3,96 \cdot 10^3$ м²; $0 \leq x \leq 0,06$ м та побудовані графіки залежностей (рис. 5) у відповідності до рівнянь (3).

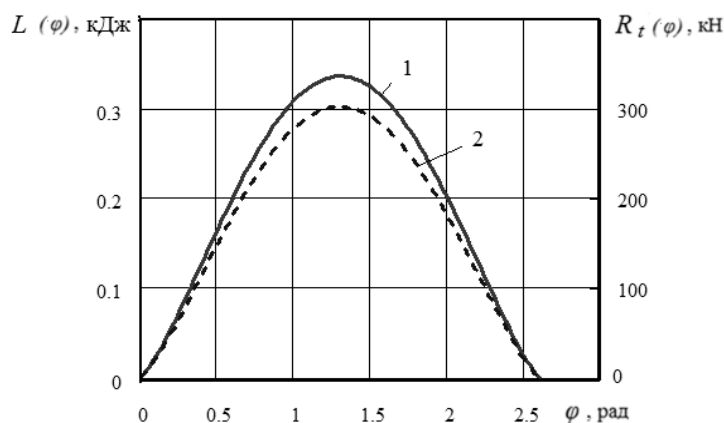


Рисунок 4 – Характеристики залежностей за умов $S=40$; $u=0,001$ м; $k_e=0,9$ від кутового переміщення ковша: 1 – енергії зарядки пневмоакумулятора; 2 – сила опору різанню

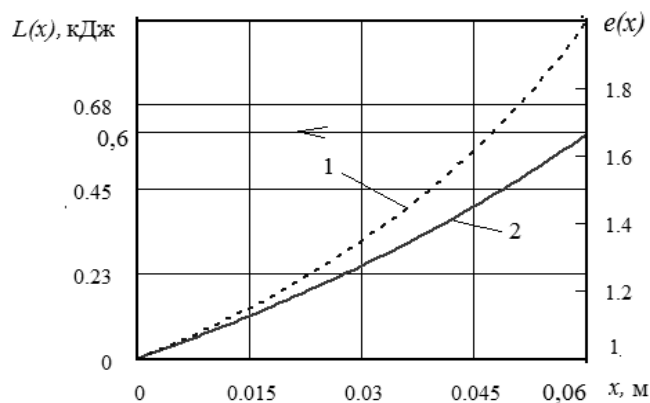


Рисунок 5 – Графіки залежностей від переміщення бойка віброударного пристрою:

1 – ступеню стиснення газу; 2 – енергії зарядки пневмоакумулятора за умов $p_0=1,8$ МПа; $n=1,3$; $V_0=6,77 \cdot 10^{-4}$ м³; $S_n=3,96 \cdot 10^3$ м²; $0 \leq x \leq 0,06$ м

Значення ходу $x=0,06$ м поршня акумулятора та його діаметр $d=(4 \cdot S_n/\pi)^{0,5}=0,071$ м визначають габаритні розміри віброударного пристрою, а енергія удару, з урахуванням втрат на розгін бойка складає $E_{y\delta} = L_{max} \cdot k_e = 0,54$ кДж.

При повороті ковша маніпулятора на кут φ (рис.1) з заглибленням в ґрунт та поступовим заповненням ковша, термодинамічні умови для процесу зарядки - розрядки пневмоакумулятора віброударного механізму різні. При цьому реалізується політропічний процес зарядки-розрядки пневмоакумулятора, як основного елемента для розгону бойка, який наносить удари по інструменту, що руйнує ґрунт, а енергоадаптація зарядки пневмоакумулятора здійснюється зменшенням об'єму його камери, наприклад, переміщенням в ній поршня зовнішнім гідроприводом [3] з реалізацією алгоритму який відображений залежністю (1). Для реалізації такого алгоритму автоматичною системою адаптації слід врахувати змінність технологічних умов робочого середовища зміною в рівняннях (3) також і показника політропи n , який для термодинамічного процесу функціонування віброударного ковша визначається залежністю [5]:

$$n = \frac{\lg p_0 - \lg p_k}{\lg V_k - \lg V_0}, \quad (4)$$

де V_k, p_k – кінцеві значення тиску в камері пневмоакумулятора при досягненні максимального ходу його поршня.

На рисунках 6 та 7 наведені графіки з урахуванням залежностей (3) відповідно $e(x,n)$ та $L(x,n)$.

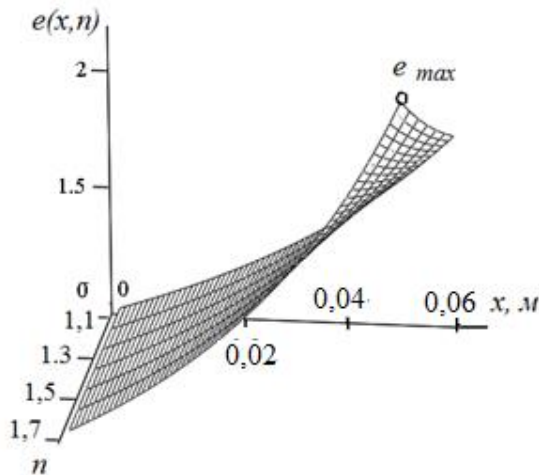


Рисунок 6 – Графік $e(x,n)$ з урахуванням залежностей (3): e_{max} – максимальне значення ступеню стиснення газу в пневмоакумуляторі $e_{max} = e(0,06, 1,7) = 2,46$

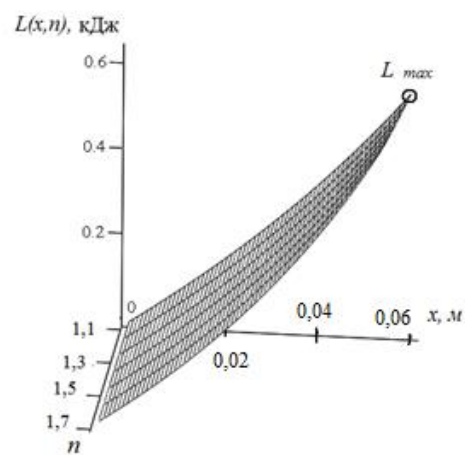


Рисунок 7 – Графік $L(x,n)$ з урахуванням залежностей (3): L_{max} – максимальне значення енергії зарядки пневмоакумулятора $L_{max} = L(0,06, 1,7) = 0,667$ кДж

Висновки

1. Запропонована залежність для реалізації алгоритму адаптивного керування переходу статичного процесу різання ґрунтів в динамічний, який доцільно реалізувати за допомогою електрогідроприводу з блоком керування та адаптації з забезпеченням оптимального діапазону регулювання енергії удару віброударним пристроєм встановленого на ковші маніпулятора.

2. Встановлені зони статичного та динамічного різання за інтегральною характеристикою робочого середовища – силою опору різанню для ґрунтів за показником ударів ударника ДорНДІ в межах 0...120. Розділення зон статичного та динамічного різання визначаються генераторними можливостями гідрокінематичної системи маніпулятора і для екскаватора АТЕК-881 (Україна) силове обмеження складає 150 кН. З наведених характеристик випливає, що екскаватор АТЕК-881 спроможний ефективно працювати в ґрунтах I – IV категорій не мерзлих ґрунтів.

3. Визначені енергетичні параметри віброударного пристрою для ефективної роботи в ґрунтах вище IV категорії. Так для попереднього руйнування ґрунту з забезпеченням ефективного різання для ґрунту з щільністю 40 за числом ударів ударника ДорНДІ, ступінь стиснення складає 2, а енергія зарядки пневмоакумулятора складає 0,66 кДж, що відповідає енергії удару 0,54 кДж, з урахуванням втрат енергії при розгоні бойка.

4. Врахований вплив термодинамічних параметрів на енергію удару при функціонуванні віброударного пристрою в реальному середовищі через врахування показника політропи процесу стиснення газу в пневмоакумуляторі. Встановлено вплив показника політропи на енергію зарядки з визначенням максимальних значень ступеню стиснення газу та енергії зарядки відповідно 2,46 та 0,667 кДж.

5. Отримані характеристики демонструють широкий діапазон спрацювання віброударного пристрою, що значно підвищує ефективність ковшових машин, і що підтверджує доцільність впровадження віброударного ковша в промислове виробництво України.

Список використаної літератури

1. Сліденко В.М. Адаптивне функціонування імпульсних виконавчих органів гірничих машин/ В. М. Сліденко, С. П. Шевчук, О. В. Замараєва, Л. К. Лістовщик. К.: НТУУ «КПІ», 2013. 180 с.
2. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов/ А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. М.: «Машиностроение», 1975. 424 с.
3. Екскаватор колісний Атек-881//Послуги спецтехніки. URL: <http://pkbud.com.ua/content/Atek> (дата звернення: 10.11.2022).
4. Сліденко В.М. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія/В.М. Сліденко, С.П. Шевчук. Київ: НТУУ "КПІ", 2010. 192с.
5. Slidenko V., Marchuk L. The influence of thermodynamic operating conditions on the energy parameters of the vibrating bucket device // Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. Proceedings of the 15th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Berlin, Germany. 2022. Pp. 163-168.

L. Marchuk¹, Ph.D. student, ORCID0000-0002-2099-4538

V. Polishchuk¹, Dr. Sc. (Eng.), Assis. Prof., ORCID0000-0001-9116-7962

V. Slidenko¹, Dr. Eng. Sc., Assoc. Prof., ORCID0000-0003-1799-784X

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ENERGY-SAVING ADAPTATION OF THE VIBRATION-IMPACT BUCKET OF THE MANIPULATOR TO THE VARIABLE CHARACTERISTICS OF THE WORKING ENVIRONMENT

The paper study of the vibrating bucket of the manipulator as an excavator or tunnelling shield, with energy-saving adaptation to the aspects of the working environment for use in the construction and mining industry. The use of buckets and vibro-impact devices with automated operation allows a reduction of energy consumption for the destruction of rocks and hard soils with adaptation to their properties. The article proposes an algorithm for optimal control of the vibro-impact bucket element - a vibro-impact device using restrictions on the cutting resistance force and impact energy. The range of functioning of the vibro-impact device is determined. The optimal area of switching on the device is established, depending on the variable aspects of the working environment.

The integral characteristic, such as the cutting resistance force of the soil, were used. It finds that this characteristic depends on the angle of rotation of the manipulator's bucket and the soil density's attribute by the number of impacts of the DorNDI impactor. The influence of thermodynamic parameters on the impact energy during the functioning of the vibration impact device in a real environment is observed by considering the polytope index of the gas compression process in the pneumatic accumulator.

The work establishes the critical level of the force of static cutting of soils by an excavator of the IV size group for Ukrainian production and the criterion for the transition of the cutting process from static to dynamic mode depending on the variable characteristics of the working environment. The energy characteristics of the adaptive vibration-impact bucket of the manipulator are given. Introducing the vibro-impact bucket into the industrial production of Ukraine is recommended.

Key words: *adaptation, manipulator, optimization, cutting force, vibrating impact device, pneumatic accumulator, impact energy.*

References

1. Adaptive functioning of impulse executive bodies of mining machines / V. M. Slidenko, S. P. Shevchuk, O. V. Zamaraeva, L. K. Listovshchik. K.: NTUU "KPI", 2013. 180 p.
2. Zelenin A. N. Machines for earthworks. Textbook for universities / A. N. Zelenin, V. I. Balovnev, I.P. Kerov. M.: "Engineering", 1975. 424 p.
3. Excavator Atek-881//Services of special equipment. URL: <http://pkbud.com.ua/content/Atek> (access date: 11/10/2022).
4. Slidenko V. Stabilization of the operation of a mining machine with an impulse executive body: monograph/V.M. Slidenko, S.P. Shevchuk. Kyiv: NTUU "KPI", 2010. 192p.
5. Slidenko V., Marchuk L. The influence of thermodynamic operating conditions on the energy parameters of the vibrating bucket device // Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. Proceedings of the 15th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Berlin, Germany. 2022. Pp. 163-168.

Надійшла 26.11.2022

Received 26.11.2022

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОСВІТЛЕНOSTІ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЇХ ПОКРАЩЕННЮ

Роботу присвячено, як аналізу методів та приладів освітлення що використовуються на сьогоднішній день а також пошук ефективних рішень по підвищенню енергоефективності електротехнічних системи внутрішнього освітлення за рахунок впровадження системи автоматизованого управління освітленням та алгоритмів енергоефективного управління, пояснення принципів побудови освітлення з використанням природного освітлення та сучасних технологій застосування звичних та новітніх приладів освітлення, так і методам покращення ефективності освітлення з використанням новітніх технологій з існуючих освітлювальних приладів. Основну увагу приділено проблемам існуючих на сьогодні способів штучного освітлення приміщень у будинках різного призначення, та вирішенню цих проблем максимально ефективними та реальними у практичному використанні методами. Дана стаття може бути корисною для тих, хто зацікавлений в модернізації існуючого освітлення чи побудові нової системи освітлення з ефективним використанням електроенергії.

Ключові слова: модернізація освітлення, освітлювальні прилади, світловий потік, енергозбереження, регулятори освітлення, автоматизація.

Вступ

На сьогоднішній день досить гостро стало питання енергозбереження, що обумовлено вартістю видобутку енергоресурсів та їх дефіцитом, глобальними проблемами екології, та проблемами безпеки на державному рівні.

Освітлювальні пристрої входять до списку найбільш широко використовуваних приладів у всіх сферах людської життєдіяльності, тому проблема енергозбереження є досить актуальною. За статистикою системи освітлення складають 50-90% споживаної електроенергії у сфері житлово-комунального господарства, офісних і адміністративних будівлях [1]. Освітлювальні прилади (ОП) є одними з найбільш поширених технічних пристроїв, які присутні практично у всіх сферах життєдіяльності людини, тому заходи з енергозбереження в цьому напрямку настільки популярні. В останньому десятилітті ХХ-го століття освітлювальні установки ряду країн споживали таку частину виробленої електроенергії: Франція - 11%, Велика Британія - 12%, Італія - 13%, Україна - 13%, Японія - 18%, США - 20% [2]. Отже, ОП, як споживачі електроенергії, представляють досить важливий об'єкт і поле для економії енергетичних ресурсів.

Освітлення є важливим елементом сучасного життя, який має значний вплив на три основні потреби людини: візуальний комфорт, щоб забезпечити відчуття благополуччя, візуальна продуктивність, щоб дозволити виконання завдань, навіть за складних обставин і протягом тривалого часу, а також безпека, що зменшує ризик аварії на підприємстві. В той же час освітлення, як зовнішнє, так і внутрішнє, є істотним споживачем електроенергії. Освітлення становить більшу частину від загальної споживаної електроенергії у багатьох будинках різного призначення: промислових, житлових, адміністративних. Енергозбереження в освітлювальних установках значно впливає на витрату електроенергії, а раціональні методи експлуатації і проблеми її якості є надзвичайно актуальними.

Під системою внутрішнього освітлення розуміють сукупність освітлювальної мережі та освітлювальних установок.

Сутність енергоефективного функціонування системи внутрішнього освітлення полягає в меншому споживанні електроенергії при забезпеченні нормативного рівня освітленості.

Мета та завдання

Дослідити існуючі способи освітлення приміщень різного призначення, провести пошук ефективних рішень по підвищенню енергоефективності електротехнічних системи внутрішнього освітлення за рахунок впровадження системи автоматизованого управління освітленням та алгоритмів енергоефективного управління, пояснити принципи побудови освітлення з використанням природного освітлення та сучасних технологій застосування звичних та новітніх приладів освітлення.

Матеріал та результати досліджень

Аналіз освітлювальних пристроїв в системах внутрішнього освітлення

Основними нормативними документами, до систем природного та штучного освітлення є: ДБН В. 2.5–28–2018 [5], згідно з яким для штучного освітлення нормується значення освітленості в залежності від розряду, під розрядом зорових робіт (їх чотири а, б, в, г), контрасту об'єкту розрізнення з фоном і характеристики фону та яскравості фону.

Згідно з ДБН В. 2.5–28–2018 [5] для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, зазвичай, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшим строком служби і світловою віддачею. Застосування ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється. Для місцевого освітлення, окрім розрядних освітлювальних пристроїв, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні.

Основними вимогами, що висуваються до сучасного освітлення є наступні: енергоефективність, забезпечення найкращих умов зорової роботи, керування освітленням безпосередньо із робочого місця, мінімізація шкоди навколишньому середовищу, енергозбереження протягом усього періоду експлуатації.

На даний час в сучасних електротехнічних системах внутрішнього освітлення найбільш широко використовуються наступні типи джерел світла (рисунок 1).



Рисунок 1 – Класифікація джерел світла

Для подальшого аналізу обираємо наступні типи ламп: СД, ЕЛП, ЛР, ГЛР.

Розглянемо детальніше та порівняємо основні характеристики зазначених ламп для застосування в автоматизованій системі. Виходячи з даних табл.1. побудуємо порівняльний графік залежності світлового потоку від потужності (рисунок 2)

Таблиця 1 – Залежність світлової віддачі від потужності

Світловий потік, лм	Потужність, Вт			
	Світлодіодна	Люмінесцентна	Вольфрамова лампа	Галогенна
450	6	8	40	29
800	9	13	60	43
1100	13	18	75	53
1600	17	23	100	72
2600	24	40	150	150
5800	45	85	300	300

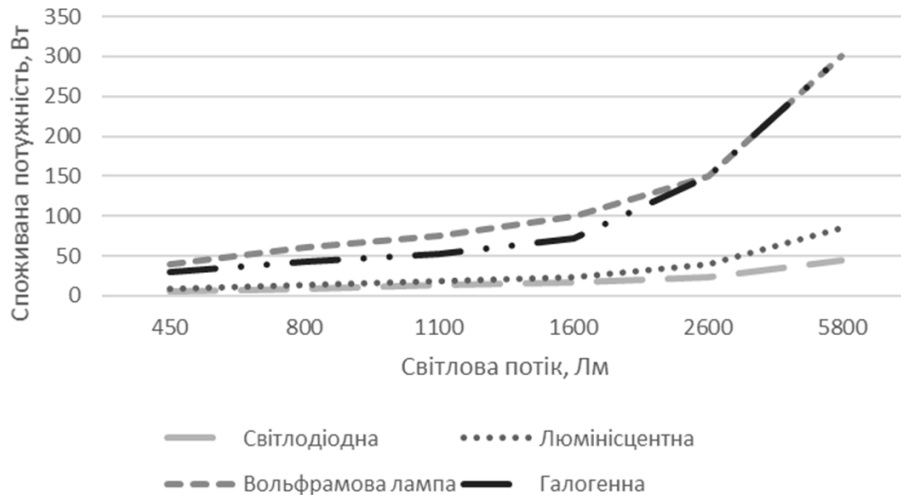


Рисунок 2 – Залежність світлового потоку від потужності

На рисунку 3 представлені витрати на електроенергію різних типів ламп.

Провівши аналіз ми можемо зробити висновок про те, що при розробці методики підвищення енергоефективності ЕС УО має сенс орієнтуватися на світлодіодні джерела світла, так як вони дозволяють підвищити енергоефективність ЕС УО не тільки за рахунок зниження втрат, а й за рахунок більш високої світлової віддачі в освітлювальних мережах і більшим спектром можливостей по регулюванню потужності і світлового потоку.

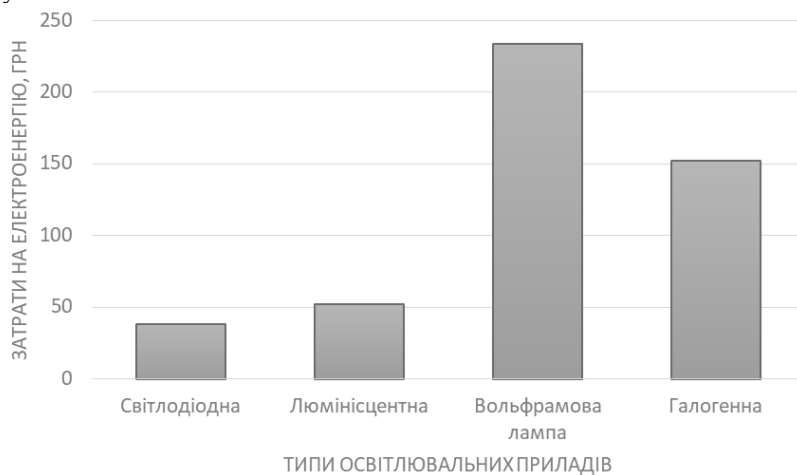


Рисунок 3 – Витрати на електроенергію різних типів ламп

Заходи збереження електроенергії

На підприємствах та в організаціях до системи економії електроенергії відносять: контроль режимів горіння освітлювальних приладів, установка пристроїв захисного відключення в схемах електропостачання, використання датчиків присутності і руху, реле часу, і комплексна заміна застарілого електроустаткування на більш досконале, з кращим співвідношенням споживання електроенергії до світлової віддачі [3].

Сучасний ринок пропонує цілий спектр технологій збереження електроенергії, які працюють в системах освітлення і спрямованих на зниження витрат по його організації.

Аналіз наукових публікацій і технічних рішень в даній області показав, що в даний час використовується кілька підходів до підвищення енергоефективності. У всьому світі, зокрема, в країнах, які входять до Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) [4], до основних енергозберігаючих заходів в області освітлення можна віднести:

- заміну джерел світла новітніми енергоефективними освітлювальними пристроями при забезпеченні встановлених норм освітленості;
- максимально ефективне використання природнього освітлення в денний час і автоматичне керування штучним освітленням залежно від рівня природнього освітлення.
- раціональним світлорозподілом з використанням сучасної освітлювальної арматури;

-використання електронної пускорегулюючої апаратури;

Сучасні електронні пускорегулюючі апарати дають змогу запустити лампи миттєво після того, як будуть розігріті її електроди. Крім того, під час роботи невелика напруга підтримує пускорегулюючу апаратуру, що дозволяє значною мірою зменшити кількість споживаної енергії, ніж під час горіння ламп без даного апарату. Також вирішується проблема стробоскопічного ефекту.

-застосування автоматичних вимикачів системою чергового освітлення в зонах тимчасового перебування персоналу. Встановлення датчиків присутності в цих зонах які будуть регулювати інтенсивність освітлення в залежності від наявності в приміщення людей;

-фарбування поверхонь виробничих приміщень і устаткування у світлі тони для підвищення коефіцієнта використання природнього й штучного освітлення, що дає ефект економії до 2,5%.

Для підвищення показників енергоефективності в більшості випадків замінюють застарілі освітлювальні установки новими, з меншою потужністю споживання. Додатковий енергозберігаючий ефект дають системи управління освітленням. Системи управління дозволяють не тільки вмикати і вимикати світло, коли це потрібно, але і знижувати потужність і світловий потік від освітлювальних установок для підтримки рівня освітленості, необхідного за нормами.

Витрата електроенергії на потреби освітлення може бути помітно знижена досягненням максимально оптимальної роботи освітлювальної установки в кожен момент часу.

Скориставшись даними досліджень, що були проведені «ВНДСІ» [9], та опираючись на ці дослідження можемо виділити наступні шляхи підвищення енергоефективності систем освітлення:

-розширенням виготовлення ефективних джерел світла і області їх застосування можливо отримати економію електроенергії близько 14%;

-збільшенням світлової віддачі джерел світла - 6%;

-підвищенням стабільності характеристик джерел світла - 3%;

-підвищенням ККД освітлювальних приладів - 6%;

-покращенням експлуатаційних властивостей освітлювальних приладів - 3,5%;

-зниженням енергоспоживання освітлювальних приладів, зокрема завдяки використанню електронної пускорегулювальної арматури - 1,5-2%.

Вдосконаленням способів освітлення теж можна досягти економії електроенергії:

-розширенням сфери застосування системи загального локалізованого освітлення - 6,5%;

-при використанні систем регулювання загального освітлення в залежності від рівня природнього освітлення - 4,5-7,5%;

-розширенням використання системи комбінованого освітлення - 4%.

Впровадження напівпровідникових, світлодіодних джерел світла та люмінесцентних ламп.

Для кращого та ефективнішого використання ресурсів необхідно застосовувати саме той тип лампи, що може забезпечити максимально можливий світловий потік на ват електричної потужності та має характеристики, узгоджені з іншими потребами освітлювальних установок та приміщення де цей пристрій планується використовуватись. Світловий потік кожного типу лампи може бути визначений на основі паспортних даних про лампу і схему її підключення. Під час проектування нового устаткування мають порівнюватись світлові віддачі придатних ламп і використовуватись ті з них, які мають найвищу ефективність. На сьогоднішній день, одним з найкращих рішень при виборі системи освітлення та відповідної лампи є компактні люмінесцентні лампи. Використанням сучасних технічних рішень люмінесцентні лампи були зменшені до розмірів звичайної лампи розжарювання. Завдяки цьому з'явилась можливість використання люмінесцентних ламп в системи освітлення у буденному житті. Люмінесцентні лампи мають такі переваги: на 80% економніше споживання електроенергії при використанні такого ж світлового потоку; в 9-12 разів більший термін експлуатації; без мерехтіння, запалення; невеликий розмір та вага; відмінна кольоропередача [4].

Перехід на новітні ефективні типи ламп дозволяє зменшити споживання електроенергії та знизити експлуатаційні витрати. Але найкращим рішенням безсумнівно залишаються напівпровідникові світло випромінюючі діоди.

Невелика потужність споживання, сумісність з інтегральними схемами пристроїв керування, висока стійкість до механічних і кліматичних впливів, висока надійність, а також СВД зі світловіддачею більше 75 люмен/ват (світловіддача стандартних ламп розжарювання – 15 люмен/ват), здійснили революцію в галузі світлотехнічних та інформаційних технологій, незважаючи на їх високу вартість. На сьогодні в Україні уже зараз випускаються світлодіоди на потужність уже понад 25 Вт. Монтувати їх можна в уже існуючу встановлену світлоарматуру.

Люмінесцентні лампи і газорозрядні лампи потребують наявності пускових пристроїв (стартерів) також засобів обмеження струму лампи після запуску (дроселів). Зазвичай для підвищення коефіцієнта потужності і зменшення спожитого струму з мережі при заданій потужності, передбачають також підключення конденсатора.

Звичайні дроселі це пристрої індукційного типу що обмежують струм ламп і стабілізують напругу, яка на них подається. Це призводить до появи втрат. Нові пристрої дозволяють знизити втрати в залізі і міді і в той же час забезпечують роботу ламп на номінальному рівні активної потужності. Для покращення ефективності кола перемикача та дроселів використовують дроселі з малими втратами, що мають підвищений склад міді. Такі дроселі мають велику вагу та великі габарити, а також дорожчі в порівнянні із стандартними дроселями [11]. Інша категорія пускових пристроїв представляє собою суто електронні і частково електронно-баластні навантаження.

Установка електронних пускорегулюючих пристроїв.

На сьогодні в експлуатації знаходиться велика кількість люмінесцентних ламп з електромагнітними дроселями, які не забезпечують оптимальних режимів роботи ламп і мають низькі експлуатаційні характеристики. Їм на заміну прийшла електронна пускорегулююча апаратура, яка значно покращує техніко-економічні показники цього типу світильників.

Сучасні електронні баласты забезпечують:

- високу якість електроенергії що споживається
- миттєве (без мигання і шуму) запалювання ламп;
- стабільність освітлення незалежно від коливань напруги;

-близький до одиниці коефіцієнт потужності завдяки споживанню синусоїдального струму з нульовим фазовим зсувом.

Сучасні електронні пускорегулювальні пристрої є досить дорогими пристроями, однак початкові затрати, компенсуються за рахунок їх високої економічності. Досягається економія електроенергії в розмірі 20-25% при збільшенні освітленості на 10-12%, знижуються затрати на обслуговування світильників із-за виключення з їх складу стартерів, конденсаторів, збільшується на 50% термін служби ламп завдяки ощадному режиму роботи і пуску.

Основою електронних пускорегулювальних пристроїв є напівпровідникові імпульсні схеми, що забезпечують живлення люмінесцентних ламп напругою підвищеної частоти, за рахунок чого суттєвого підвищується якість освітлення люмінесцентних ламп при зниженому споживанні енергії якщо порівнювати зі світильниками, які використовують традиційні електромагнітні баласты. Розроблені пристрої є перетворювачами струму низької частоти мережі живлення в струм підвищеної частоти і містить необхідні вузли для підтримання оптимального режиму запалювання і роботи лампи, а також контролю працездатності ламп і засобів захисту від аномальних режимів. Сучасний етап характеризується інтенсивною розробкою і впровадженням мікропроцесорних і спеціалізованих контролерів для керування системами освітлення. На сьогодні електронні баласты виробляються масово в країнах де інтенсивно впроваджують енергозберігаючі технології та здобувають практично масового використання.

Використання світлової віддачі ламп.

Для використання світлової віддачі ламп будемо враховувати:

- ефективність світильника (освітлювальної арматури);
- проект схеми освітлення;
- природне освітлення;
- правильне використання вимикання та регулювання.

Головними функціями світильників є: підтримка та захист лампи, забезпечення електричного підключення до джерела живлення, а також регулювання та направлення світла, що випускається лампою.

Використовуючи в освітлювальних приладах високоефективні рефлектори можливо досягти значного покращення ефективності освітлення. Ці рефлектори використовують поверхню покриту сріблом, що має максимально високе дзеркальне відображення та забезпечує максимальне відбиття світлового потоку лампи. Високоефективні рефлектори забезпечують збільшення коефіцієнта використання освітлювальної установки, в результаті чого більша частина світлового потоку, досягає поверхні. Практично це дає змогу зменшити майже вдвоє кількість ламп для освітлення тієї ж площі.

Не малу роль в якості освітлення також має вплив дизайну та облицювання приміщення. Поверхні покращені в світлий тон відбивають світла більше і є більш ефективними, проте їх необхідно регулярно фарбувати, мити, або заново оклеювати з тим щоб забезпечувати економічне використання освітлення [10]. Збільшення коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщень на 20% дозволяє економити 5-15% електроенергії, внаслідок збільшення рівня освітленості.

Системи автоматичного регулювання освітлення в залежності від зовнішніх факторів.

Пристрої управління освітленням забезпечують зручність використання, мінімальні витрати часу на включення (відключення) освітлювальної установки, максимальне використання природного світла з урахуванням режимів роботи технологічного обладнання виробничого об'єкта [7].

Системою внутрішнього освітлення під управлінням розуміється зміна кількості, складу, споживаної потужності і світлотехнічних характеристик світлових приладів з метою адаптації їх до застосування в умовах функціонування, що змінюються. Управління освітлювальними пристроями

реалізується шляхом включення і виключення джерел електричного освітлення, а також регулюванням рівня освітленості об'єкта, що освітлюється.

Способом управління і регулювання системи освітлення мають такі різновиди:

- ручне включення і регулювання;
- включення і регулювання за допомогою датчиків освітленості;
- включення за допомогою інфрачервоних датчиків руху;
- система освітлення з застосуванням датчиків звуку (ультразвуковий);
- комбіновані системи управління освітленням;

Домогтися найбільш повного і точного обліку наявності денного світла, так як і обліку присутності людей в приміщенні, можливо, застосовуючи засоби автоматичного управління освітленням. Управління освітлювальною навантаженням здійснюється при цьому двома основними способами: відключенням всіх або частини світильників (дискретне управління) і плавним зміною потужності світильників (однаковим для всіх або індивідуальним) [8].

Регулятори освітлення.

Метою регуляторів освітлення є забезпечення ефективного освітлення в необхідному місці і протягом потрібного часу. За допомогою ручних регуляторів можливо отримати керування індивідуальними світильниками або ж освітленням для окремих груп систем освітлення. Автоматичні регулятори бувають: фотоелектричні, безконтактні, регулятори з таймером.

Фотоелектричні регулятори забезпечують можливість відключення штучного освітлення в сонячні дні, або коли природного освітлення достатньо для створення необхідних умов освітлення. Фотоелектричний датчик налаштовується на спрацювання лише при зміні зовнішньої освітленості, для забезпечення необхідних умови освітленості робочого місця. Включення регулятора в робочий режим відбувається в момент зниження освітленості нижче необхідного рівня за допомогою фотодіода, а безпосереднє включення або виключення освітлення здійснюється після сигналів, які надходять від датчика руху в той момент коли в поле його дії потрапляє користувач.

Особливістю схеми підключення датчика освітленості вважається урахування навантажувальної здатності реле датчика. За необхідності (недостатнє навантаження) використовують додаткове реле з потрібним струмом комутації.

У більш складних системах фотодатчик через диммер плавно змінює інтенсивність штучного освітлення і підтримує загальну освітленість приміщення на заданому рівні. Для забезпечення коректної роботи системи управління, проводиться калібрування датчика освітленості.

Безконтактні регулятори. Це локальні регулятори, які реагують на присутність (ефект близькості) в приміщенні людей. Присутність визначається за допомогою датчиків, зазвичай інфрачервоних (ІЧ) або високочастотних датчиків. Прилади освітлення вмикаються при фіксації руху в приміщенні або ж коливанні хвиль (включають та знову його відключають) коли руху не зафіксовано. Підключення датчика до мережі та взаємодія з системою освітлення можливе за двома варіантами:

- пряме підключення до ламп (пристрій буде спрацьовувати так, як це задано виробником).
- у коло підключення додають вимикач зі сторони входу (дозволяє примусово відключати світло, а також і датчик, що дає можливість ручного керування).

Регулятори з таймером можна використовувати в приміщеннях, де робота відбувається за чітко визначеним графіком. До прикладу, освітлення за фіксованої зміни буде автоматично вимикатись з невеликим запізненням після закінчення робочої зміни в цьому приміщенні. Проте в цьому випадку необхідно передбачити аварійне та охоронне освітлення. В залежності від модифікації таймера, в ньому можливо запрограмувати події від доби до одного року. Одним з різновидів таких таймерів є астрономічні реле. Зазвичай, ці реле використовують для управління зовнішнім освітленням – як входні величини в нього вводяться географічні координати місцевості, а пристрій вже на підставі цієї інформації сам розраховує, коли потрібно ввімкнути або вимкнути освітлення.

Автоматичне управління рядами світильників ефективно використовувати для освітлення приміщень з великою площею. Завдяки ньому можна вимикати деякі з груп світильників, якщо природного освітлення достатньо [6]. Також, завдяки цьому, можливо локалізувати зони освітлення, що в свою чергу дозволяє економити споживання електроенергії.

Підтримання ефективності системи освітлення.

Для забезпечення ефективності системи освітлення необхідна: періодична чистка світильників, заміна пошкоджених та застарілих ламп, полегшення доступу природного освітлення шляхом регулярного чищення вікон.

Використання на практиці освітлювальної апаратури вказує, що втрати світлового потоку складає:

- через забруднення світильників – 15,7%;
- забруднення стін та стелі – 19,2%;
- старіння ламп – 13,1%;
- неправильної зборки ламп і рефлектора – 3,8%;

-понаднормативної втрати напруги в мережі – 7,5%.

Потрібно відмітити, що використання ламп з раціональною освітлювальною арматурою скорочує витрати електроенергії в 1,5 рази в порівнянні з відкритими лампами.

Підвищення коефіцієнта потужності мережі є одним із найважливіших способів щодо економії електроенергії. Цей метод зменшує споживання реактивної потужності електроустановками, чим дає змогу зменшити втрати в енергосистемі на передачу реактивної потужності.

При значній економії електроенергії люмінесцентні лампи мають деякі особливості. Наприклад, у люмінесцентних ламп коефіцієнт потужності складає біля 0,5 тому не можна допускати роботу цих ламп без компенсуючих пристроїв.

Підтримання якості напруги мережі освітлення.

Коливання напруги призводить до непотрібних втрат електроенергії. Напруга на виводах ламп не повинна виходити за межі 85% - 105% номінальної напруги. Зниження напруги на 1% викликає зменшення світлового потоку ламп: розжарювання – на 3-4%, люмінесцентних – на 1,5% і ртутних люмінесцентних ламп на 2,2%.

Для уникнення цих проблем використовуються окремі трансформатори для навантаження освітлення і компенсуючі пристрої. В той же час використовуються пристрої автоматичного регулювання напруги. Для промислових освітлювальних електромереж використовується автоматичне регулювання напруги за допомогою вольтодобавочних трансформаторів та включенням в мережу додаткової індуктивності.

Висновки

В даній роботі було проведено аналіз існуючих енергоефективних технічних рішень в системах внутрішнього освітлення, за результатами якого можна зробити висновок, що в системі освітлення доречно використовувати світлодіодні світильники завдяки їх чудовим показникам світлового потоку, світловіддачі, великого терміну служби та доступної ціни.

Так само було розглянуто різні енергозберігаючі методи в системах освітлення до яких можна віднести: впровадження напівпровідникових, світлодіодних джерел світла та люмінесцентних ламп, встановлення електронних пускорегулюючих пристроїв, більш ефективного використання світлової віддачі ламп, впровадження систем автоматичного регулювання освітлення в залежності від зовнішніх факторів та підтримання ефективності системи освітлення.

Використовуючи ці способи можна досягти досить значної економії електроенергії та, відповідно, фінансових ресурсів.

Список використаної літератури

1.ДП «НЕК»УКРЕНЕРГО» Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн.Відокремлений підрозділ. – К.: 2017. – 213с.

2.Андрійчук В.А. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи. Праці II міжнародної науково-технічної конференції, приуроченої 160-річчю видатного українського фізика, піонера в галузі світлотехніки і електротехніки професора Івана Пулюя. . – Тернопіль.: 2005. – 170с.

3.Економія електроенергії на підприємстві: основні способи. [електронний ресурс].–Режим доступу:<https://energy.com.ua/energoefektivnist/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpruyemstvi/>(дата звернення 14.05.20).

4.ДП «НЕК»УКРЕНЕРГО» Огляд аналітичних робіт міжнародних енергетичних організацій щодо стану та сценаріїв розвитку світової енергетичної сфери з прогнозом інвестування в енергоефективність. Відокремлений підрозділ. – К.: 2018. – 94с.

5.ДБН В.2.5-28:2018 .Природне і штучне освітлення.Технічні норми.–Чинні з 28.02.2019. – К.: 2018. – 133с.

6.Безпека праці та промислова санітарія.Навчальний посібник до курсу «Охорони праці»:[К.Н. Ткачук та ін.]– Тернопіль.: 2018. – 213с.

7.Освітлення виробничих приміщень — види промислових світильників [електронний ресурс].–Режим доступу: <https://stolb.com.ua/osvitlennya-virobnichikh-primishchen-vidi-promislovikh-svitilnikov/>(дата звернення 16.08.22).

8.Системы автоматического управления освещением зданий[електронний ресурс].–Режим доступу: <http://electricalschool.info/main/lighting/409-sistemy-avtomaticheskogo-upravlenija.html>(дата звернення 18.08.22).

9.The International Dark-Sky Association (IDA) is the recognized authority on light pollution and is the leading organization combating light pollution worldwide. [електронний ресурс].–Режим доступу:<https://www.darksky.org/about/>(дата звернення 1.08.22).

D. Mitiaiev¹, student of the group EC2121
T. Drubetska¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-8580-9719
¹Ukrainian State University of Science and Technology

STUDY OF THE ILLUMINATION AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR ITS IMPROVEMENT

Goal. Investigate the existing methods of lighting rooms of various search purposes, make effective decisions on increasing the energy efficiency of electrical engineering systems of internal education through the implementation of automated education management systems and energy-efficient management algorithms, explain the principles of lighting construction using natural lighting and the application of modern technologies of familiar and modern lighting devices.

Task. Analysis of existing technical solutions to increase the energy efficiency of the internal lighting system and substantiation of their energy efficiency indicators. Synthesis of the internal lighting control system of the administrative building. Development of algorithms for energy-efficient control of the internal lighting system taking into account external factors.

The result of the study. The work is devoted to the analysis of lighting methods and devices used today, as well as the search for effective solutions to increase the energy efficiency of the electrical system of internal lighting due to the implementation of an automated lighting control system and energy-efficient control algorithms, an explanation of the principles of lighting construction using natural lighting and modern application technologies conventional and modern lighting devices, as well as methods of improving lighting efficiency using the latest technologies from existing lighting devices. The main attention is paid to the problems of the currently existing methods of artificial lighting of rooms in houses of various purposes, and to the solution of these problems with the most effective and real methods in practical use. This article may be useful for those interested in upgrading existing lighting or building a new lighting system with efficient use of electricity.

Conclusions and practical significance. In this work, an analysis of existing energy-efficient technical solutions in interior lighting systems was carried out, based on the results of which it can be concluded that it is appropriate to use LED lamps in the lighting system due to their excellent indicators of luminous flux, light output, long service life and affordable price. It was also a source of various energy-saving methods in lighting systems, which can be attributed to: the introduction of half-light, LED lights and fluorescent lamps, the installation of electronic start-up control devices, more efficient use of light output, the introduction of a system of automatic lighting regulation depending on external factors and maintaining efficiency. education system.

Key words: lighting modernization, lighting devices, luminous flux, energy saving, lighting regulators, automation.

References

1. SE "NEK"UKRENERGO" Experience of the European Union countries in increasing energy efficiency, energy audit and energy management for energy saving in the economy of the countries. Separate unit. - K.: 2017. - 213 p.
2. Andriychuk V.A. Lighting and electrical engineering: history, problems and prospects. Proceedings of the II international scientific and technical conference dedicated to the 160th anniversary of the outstanding Ukrainian physicist, pioneer in the field of light engineering and electrical engineering Professor Ivan Pulyuy. . – Ternopil.: 2005. – 170 p.
3. Saving electricity at the enterprise: main methods. [electronic resource].–Access mode: <https://eenergy.com.ua/energoefectyvnist/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpryyemstvi/> (access date 05/14/20).
4. SE "NEK"UKRENERGO" Review of analytical works of international energy organizations regarding the state and scenarios of development of the global energy sector with a forecast of investing in energy efficiency. Separated subdivision. - K.: 2018. - 94 p.
5. DBN V.2.5-28:2018. Natural and artificial lighting. Technical standards. – Valid from 28.02.2019. - K.: 2018. - 133 p.
6. Occupational safety and industrial sanitation. Training manual for the course "Occupational safety": [K.N. Tkachuk et al.]– Ternopil.: 2018. – 213 p.
7. Lighting of industrial premises - types of industrial lamps [electronic resource].–Access mode: <https://stolb.com.ua/osvitlennya-virobnichikh-primishchen-vidi-promislovikh-svitilnikov/> (access date 08/16/22).
8. Systems of automatic lighting control completed [electronic resource].– Access mode: <http://electricalschool.info/main/lighting/409-sistemy-avtomaticheskogo-upravlenija.html> (access date 08/18/22).
9. The International Dark-Sky Association (IDA) is the recognized authority on light pollution and is the leading organization combating light pollution worldwide. [electronic resource].–Access mode: <https://www.darksky.org/about/> (accessed 08/1/22).

Надійшла 15.11.2022
Received 15.11.2022

МІЖГАЛУЗЕВІ ПРОБЛЕМИ І СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПАЛИВНО- ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ

INTER-INDUSTRY PROBLEMS AND SYSTEMS RESEARCH IN THE FUEL AND ENERGY SECTOR

УДК 621.311:621.33

DOI 10.20535/1813-5420.1.2023.276185

Г. П. Костенко¹, ORCID 0000-0002-8839-7633

¹Інститут загальної енергетики НАН України

СИТУАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ІНТЕГРАЦІЇ ДО ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Анотація. Проведено аналіз перспектив розвитку електротранспорту та його інтеграції в енергосистему в умовах України з використанням методів стратегічного планування. Виявлено, що транспортний сектор в Україні має значний вплив на навколишнє середовище, є одним з найбільш енерговитратних секторів економіки, та крім того, транспорт з двигунами внутрішнього згорання є істотним фактором збільшення залежності від імпортного палива через стійкий та значний за обсягами попит на нафтопродукти. Натомість, саме електричний транспорт та технології його взаємодії з енергосистемою є однією з ключових технологій, які пропонують великий потенціал для пом'якшення наслідків зміни клімату. Таким чином, на сучасному етапі існує нагальна потреба в розробці стабільної політики сприяння цим технологіям, для чого необхідно визначити та порівняти особливості політики інтеграції електромобілів та енергосистеми в умовах України. У цьому дослідженні використовується якісна методологія стратегічного планування із використанням оцінки сильних і слабких сторін, можливостей і загроз (SWOT-аналіз), щоб максимально врахувати різні заходи та ініціативи, пов'язані з розвитком електротранспорту та його інфраструктури водночас із їх інтеграцією в енергосистему. Виконане дослідження виявляє проблеми, пов'язані з впливом заряджання електромобілів на енергосистему, наприклад, неспроможності забезпечити підвищення потреб в енергії або обмеження електричного навантаження інфраструктури заряджання електромобілів. Натомість, високий відсоток частки ВДЕ, підвищення соціальної обізнаності про зміну клімату та зниження цін на електромобілі можуть забезпечити необхідні можливості для розвитку електротранспорту в умовах України.

Ключові слова: електромобіль; SWOT-аналіз, перспективи розвитку; стійка мобільність.

Вступ. На сьогодні електрифікація транспорту в усьому світі вважається однією з ключових умов декарбонізації для реалізації Паризької угоди та виконання національно визначених внесків, як в країнах світу, Європи, так зокрема і в Україні. Як зростання автопарку електромобілів, так і збільшення виробництва ВДЕ можуть значно сприяти пом'якшенню наслідків зміни клімату, але їх інтелектуальна інтеграція має високий пріоритет. Спостерігається загальна тенденція надавати перевагу електромобілям за допомогою стимулів на місцевому, регіональному та національному рівнях. Однак для того, щоб стимулювати розвиток електромобільності та супутніх технологій, потрібна чітка інноваційна та стабільна політика. Звісно, широке впровадження, розвиток та масове використання електротранспорту та його зарядної інфраструктури має відбуватись синхронно та узгоджено з відповідною трансформацією енергетичної системи.

Метою даного дослідження є огляд сучасного стану та виконання комплексного аналізу перспектив розвитку електротранспорту в Україні, та можливостей створення нових ефективних систем передачі енергії «електротранспорт-електроенергетика», а також визначення основних переваг та перешкод використання електротранспорту в електричних мережах України.

Матеріал та результати дослідження.

В Україні транспортна галузь на рівні з енергетичною продукує до 28% викидів CO₂. Обсяги парникових викидів від використання двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а з ними — ризики глобальної зміни клімату і забруднення повітря роблять доцільним широке впровадження електричного транспорту на всіх рівнях організації перевезень, і в першу чергу це стосується приватного користування електромобілями та міського пасажирського транспорту (муніципального парку електробусів, службової дорожньої техніки, таксі, служб доставки, тощо). Цього вимагають і прийняті Україною міжнародні екологічні зобов'язання.

Згідно планів Єврокомісії, до 2030 року електромобілі повинні скласти половину всього міського автотранспорту. Очікується, що такий перехід на електропривід дозволить значно знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу і знизить рівень акустичного забруднення навколишнього середовища. Згідно Національної транспортної стратегії в Україні розраховують до 2030 року повністю перейти на муніципальний транспорт з електродвигунами, повністю замінивши автобуси та маршрутні таксі.

Реалізація програм «озеленення» транспорту дозволить Україні суттєво скоротити викиди парникових газів, що є необхідним для виконання зобов'язань за Паризькою кліматичною угодою. За даними Міністерства Інфраструктури України на 01.01.2022 р. в країні налічується близько 10,2 млн. автомобілів. При заміні української автотранспортної системи на електричну можна досягти значних природоохоронних результатів.

Перші електромобілі в Україні були офіційно зареєстровані ще у 2012 році. Помітне зростання їх кількості відбулося у 2016 році (1602 од. проти 470 од. у 2015 р.), що було пов'язано з початком дії з 1 січня 2016 року закону про скасування мита на імпорт електромобілів. У 2021 році в Україні було зареєстровано 8 500 електромобілів. Це приблизно на 20% більше, ніж у 2020 році. Створення національної інфраструктури зарядних станцій стане поштовхом не лише для поширення приватного електротранспорту, а й для муніципального, та для розвитку нових сервісів з використанням електромобілів, наприклад, у сфері логістики.

У 2022 році попит на електроавтомобілі в Україні зріс у 15 разів через спровокований військовою агресією дефіцит та подорожчання пального. Через кризу на ринку пального в Україні виникло стрімке зростання попиту на електромобілі. На сьогодні разом з «гібридами» кількість електрифікованих автомобілів складає понад 100 тисяч (з них чистих електромобілів – 42,3 тис., причому більше 10 тис було зареєстровано протягом 9 міс. 2022 р.).

Станом на 1 жовтня 2022 року кількість зареєстрованих електромобілів в Україні становила 42289 од.[1]. Що стосується розподілу електромобілів за регіонами України, як наведено в табл. 1, перше місце займає Київ, де на 1 жовтня 2022 року налічувалося 8740 зареєстрованих електромобілів. А у всій Київській області разом з Києвом їхня кількість сягає 11957 одиниць або майже третину від загальної чисельності в країні.

Особливість українського ринку електромобілів полягає у тому, що переважну його більшість (до 85%) складають вживані електромобілі із США та країн Європи. Найбільш популярна і поширена модель електромобіля в Україні - Nissan Leaf .[1]

Оскільки з кожним місяцем електромобілів в Україні дедалі більше, це виводить на перший план розвиток зарядної інфраструктури. Відзначимо, що для збільшення кількості електротранспорту критично важливим є розвиток щільної мережі зарядок біля місця проживання та роботи. Маючи можливість зарядитися біля місця проживання, споживач з більшою вірогідністю обере електромобіль, купуючи автомобіль. У той самий час, бізнесу економічно не вигідно розбудовувати мережі зарядних станцій без достатньо розвинутого ринку електромобілів у короткостроковій перспективі [2].

Для зарядних станцій та конекторів моніторинг та облік на державному рівні поки що відсутній, а з початком бойових дій неможливий фізично. Дані з відкритих джерел свідчать, що у порівнянні з 2020 р. кількість станцій та зарядних портів (на кожній станції може бути кілька конекторів різних типів) зменшилася. Так, якщо на 1.01.2021 р. в Україні налічувалося 11,5 тис. точок підключення (або конекторів), то станом на 1.11.2021 р. – 7,8 тис., загальне число зарядних станцій – 3244. Це спричинено тим, що у 2021 році український ринок зарядної інфраструктури суттєво змінив свою конфігурацію – деякі оператори об'єдналися, інші залишили ринок [3]. Однак, навіть незважаючи на це, на початок 2022 р. співвідношення кількості електромобілів до кількості точок підключення в Україні становило 4,2. Це високий показник, на рівні найкращих серед європейських країн (такий індекс, наприклад, у Нідерландах).

Таблиця 1. Кількість зареєстрованих електромобілів за регіонами України.

№	Регіон України	Кількість електромобілів, од.		№	Регіон України	Кількість електромобілів, од.	
		1.11.2021	1.10.2022			1.11.2021	1.10.2022
1	м. Київ	7176	8740	14	Тернопільська обл.	509	972
2	Одеська обл.	4733	4801	15	Миколаївська обл.	483	654
3	Київська обл.	3730	3217	16	Івано-Франківська обл.	481	753
4	Харківська обл.	3178	3443	17	Донецька обл.	471	887
5	Дніпропетровська обл.	2680	3656	18	Черкаська обл.	426	862
6	Львівська обл.	2172	3078	19	Волинська обл.	426	694
7	Вінницька обл.	957	1544	20	Закарпатська обл.	410	784
8	Запорізька обл.	851	1222	21	Херсонська обл.	248	403
9	Житомирська обл.	784	1256	22	Сумська обл.	223	427
10	Полтавська обл.	637	1084	23	Кіровоградська обл.	221	465
11	Рівненська обл.	633	856	24	Чернігівська обл.	148	333
12	Хмельницька обл.	518	1026	25	Луганська обл.	50	250
13	Чернівецька обл.	515	860	26	АР Крим	2	22
	Україна (всього)					32662	42289

Збільшення кількості електричних транспортних засобів робить їх важливою складовою системи електропостачання як на регіональному рівні, так і на рівні всієї країни. Розвиток електричних мереж з електромобілями, розробка і використання технологій Smart Grid для них здійснюється з урахуванням додаткових вимог і обмежень відносно режимів заряду тягових батарей автомобілів з метою забезпечення їх ефективної інтеграції в гібридну систему електропостачання. На сьогодні в Україні, як і в розвинених країнах світу, існує можливість інтеграції електричних транспортних засобів в електричну мережу при використанні їх для регулювання навантаження енергосистеми [3].

Стратегія полягає в тому, щоб заряд акумуляторів транспортних засобів здійснювати в основному під час мінімуму навантаження енергосистеми, а в пікові періоди часу – генерувати енергію від акумулятора в мережу. Масове використання електромобілів в такому режимі дозволить знизити попит на електроенергію в пікові періоди, що, у свою чергу, знижує потребу в пікових електростанціях і допомагає зменшити шкідливі викиди, оскільки такі генеруючі джерела звичайно більш екологічні й ефективні порівняно з електростанціями, які забезпечують постійне (базове) навантаження. Ця задача актуальна як для багатьох європейських країн, так і для України.

Вирівнювання графіків електричного навантаження споживачів електричних мереж за рахунок використання електромобілів за принципом є аналогічним до загальносистемного з використанням ГАЕС. Щоб визначити регульовальний потенціал використання електромобілів в реальних умовах електроспоживання, необхідно враховувати шаблон використання електромобілів в конкретному випадку оперативного режиму навантаження підстанції (режим автомобіля в русі, режим заряду/споживача, режим розряду/генератора). За умови широкого впровадження електромобілів та ефективного використання технології Vehicle-to-Grid (V2G) – «автомобіль до мережі», можливо буде враховувати при проектуванні електричної мережі дане джерело активного навантаження. Найбільш потенційними місцями для розташування станцій заряду-розряду у містах є автостоянки в житлових районах, поблизу торговельно-розважальних центрів, тощо.

Загалом створення умов для поширення електромобілів в Україні та розбудови належної інфраструктури розпочато вже на державному рівні, адже Національною транспортною стратегією до 2030 року та розробленим відповідним планом заходів передбачено таке стимулювання використання електромобілів, щоб їх парк склав до 70% від загальної кількості автомобілів [6]. Загалом окрім загальної кількості точок зарядження не менш важливою є якісні характеристики зарядок – інакше кажучи, чи достатньо зараз в країні "швидких" конекторів. Наразі "швидких" конекторів в Україні близько 24% – на кожен з них припадає три "повільні". З одного боку, середньоєвропейський показник у 2020 році був нижчий за український і становив 1 до 9 (на "швидкісні" зарядки припало 11,1% від загальної кількості). З іншого – збільшення кількості DC-точок є критично важливим для прискорення темпів електромобілізації

України. Адже ємність батарей у нових моделях електромобілів постійно зростає, досягнувши сьогодні 70-80 кВт·год. Також вже існують потужні електромобілі з ємністю батареї близько 100 кВт·год (наприклад, Tesla).

Варто зазначити, що інфраструктура зарядних станцій зосереджена в основному в великих містах, а на міжміських маршрутах кількість зарядних пунктів вкрай обмежена. Тому вважається, що електромобілі найбільш зручні для пересування саме в межах міста. Звичайні розетки розташовані і на бензинових АЗС, і в придорожніх закладах, однак слід враховувати, що час підзарядки автомобіля в даній ситуації складатиме близько 8-10 годин. В разі, коли виникає нагальна потреба терміново підзарядитися вдень, необхідно шукати саме швидкісну зарядку, що доволі складно.

Однак, враховуючи досвід інших країн, можна стверджувати, що загалом попит на електротранспорт залежить від вартості електромобілів, розвитку інфраструктури та державних програм стимулювання. Комерційні вантажні перевізники та приватний електротранспорт потребують більш детальних програм заохочення, підтримки та субсидій зі сторони держави. Окрім того, масове використання електротранспорту матиме важливий соціальний та екологічний наслідок - сприятиме покращенню якості повітря у містах, що є однією із актуальних загроз у великих містах України. Що стосується вантажного електротранспорту, його використання може виявитись найбільш економічно доцільним саме у великих містах і агломераціях с високою щільністю населення, коли не потрібно долати дуже великі відстані.

В Україні вже розпочато реалізацію заходів та ініціатив зі сприяння розвитку ринку електромобілів:

-3 1 січня 2022 р. набули чинності відповідні закони, які передбачають внесення змін до Податкового (Закон №1660-IX [4], тимчасове до 2026 р. звільнення електричних транспортних засобів та супутніх товарів від оподаткування ПДВ) і Митного (Закон №1661-IX [5], тимчасове, до 2031 року, звільнення від оподаткування ввізним митом) кодексів для стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні.

-На початку 2022 року Міністерство інфраструктури України ініціювало розробку ключових змін у державні будівельні норми в частині розміщення електрозаправок на дорогах [6].

-У червні 2022 року «Кабінет Міністрів ухвалив розроблене Міненерго розпорядження «Про створення державним підприємством «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» мережі швидкісних автомобільних електрозарядних станцій [7]. Передбачається, що упродовж двох років Енергоатом створить 120 автомобільних електричних зарядних станцій: 40 - великої потужності (від 160 кВт) та 80 - середньої потужності (від 60 кВт). Зарядні станції працюватимуть в обласних центрах та на основних автомагістралях України.

- За пропозицією Міністерства енергетики 14 жовтня 2022 р. Кабінет Міністрів схвалив Концепцію впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року та затвердив План заходів щодо її реалізації [8]. «Концепція впровадження «розумних мереж» і план заходів з її реалізації задають рамку для реалізації сучасних технологій в українській електроенергетиці, у тому числі в процесі відбудови і відновлення енергетичної інфраструктури після руйнувань російським агресором. Відновлений енергетичний сектор України має стати втіленням сучасних енергетичних технологій і відповідати європейським стандартам енергоефективності. Концепція має на меті поступове зменшення втрат електроенергії в мережах, забезпечення зниження викидів CO₂, збільшення обсягу інвестицій у модернізацію електромереж, а також забезпечення покращення якості та надійності електропостачання для споживачів електричної енергії, що прямо стосується електротранспорту та оптимізації його взаємодії з енергосистемою.

У результаті впровадження Плану заходів щодо реалізації цієї Концепції до 2035 року передбачається зменшити втрати електроенергії в електромережах в цілому по Україні із 11,6% до 7,5% або на 6 млрд кВт*год, що еквівалентно 3 млн тонн спаленого вугілля на ТЕС [8].

Серед конкретних кроків для переходу на електричний транспорт – залучення коштів міжнародних фінансових організацій з метою придбання електротранспорту для міст України, розробка механізму щодо часткової компенсації витрат на придбання транспортних засобів з електричними двигунами, а також ряд заходів з метою підвищення екологічності транспорту, наприклад, дорожні збори залежно від рівня екологічних норм автомобіля, реформування системи здійснення контролю за технічним станом тощо.

Необхідність здійснення комплексного оцінювання всіх чинників впливу зовнішнього та внутрішнього середовища для визначення можливостей та перспектив підвищення електромобільності в Україні є умовою розробки відповідної стратегії, підґрунтям до якої є SWOT-аналіз [9]. SWOT-аналіз – це інструмент стратегічного аналізу для оцінювання сильних та слабких сторін проекту, можливостей та загроз (SWOT – аббревіатура від Strengths, Weakness, Opportunities, Threats). За результатами SWOT-аналізу визначається, чи наявні внутрішні ресурси, щоб реалізувати наявні можливості і протистояти загрозам інноваційного проекту, а також які внутрішні недоліки вимагають якнайшвидшого усунення.

Сильні (S) і слабкі (W) сторони є факторами внутрішнього середовища об'єкта аналізу, (тобто тим, на що сам об'єкт здатний вплинути); можливості (O) і загрози (T) є факторами зовнішнього середовища (тобто тим, що може вплинути на об'єкт ззовні і при цьому не контролюється об'єктом) [1]. Переваги методу: простота і можливість витратити невеликі кошти на його проведення, гнучкість і наявність безлічі варіантів, спільне вивчення зовнішніх та внутрішніх факторів.

При розгляді сильних сторін розвитку електротранспорту виявлено, що використання електромобілів замість автомобілів з ДВЗ значно зменшує забруднення повітря у містах. Традиційні автомобілі, навіть із високоякісним нафтовим паливом викидають безліч забруднюючих речовин. А електромобілі на стадії експлуатації не мають викидів. Викиди, які утворюються у зв'язку з генерацією електроенергії, в основному залишаються поза містами і розпоршуються на суттєво більшу висоту, що безпечно для здоров'я населення.

Електричний двигун з розрахунком втрат при зарядці має ефективність порядку 85-90% потрібної з мережі електроенергії, що в 3 рази вище за ККД двигуна внутрішнього згоряння, що становить близько 30-35%. При цьому, якщо врахувати втрати при нафтопереробці та генерації та передачі електроенергії, то за витратами енергії ці технології в цілому співставні. Але для різних країн та регіонів світу цей баланс різний залежно від структури генерації електроенергії. Електромобіль через специфіку руху у містах більше ефективний з точки зору використання енергії, ніж традиційні автомобілі.

Електроенергія в середньому дешевша за бензин і коливання ціни на неї незначні, у порівнянні з цінами на моторне паливо з нафти. Електромобіль з тими ж характеристиками витратить в рази менше палива. В результаті в залежності від країни та джерела енергії паливні витрати у електромобіля можуть бути від 3 до 10 разів нижчими. Автомобіль з ДВЗ має близько 10 000 рухомих частин та деталей. У електромобілях їх 1000-2000. Механіка частин електромобіля значно простіша і, відповідно, знос деталей менший, а витрати на це нижчі.

Також електромобіль набагато простіший в керуванні, ніж автомобіль із ДВЗ, за рахунок однієї передачі, низького центру тяжіння (за рахунок низького розташування батареї, яка зазвичай знаходиться над днищем автомобіля). Завдяки відсутності двигуна в передній частині машини, електромобіль не тільки дає вам додаткове місце для перевезення вантажів, але і також суттєво підвищує безпеку автомобіля.

Серед слабких сторін варто відзначити високу вартість електромобіля, яка є найбільшою перешкодою на шляху до його масового поширення. У середньому роздрібна ціна автомобіля середнього класу з двигуном внутрішнього згоряння вдвічі нижче ціни електричного аналога. У більшості моделей електромобілів кузов і багато інших частини запозичені у аналогів з двигуном внутрішнього згоряння. А найдорожчою частиною електромобіля є батарея, на частку якої припадає до 40% від кінцевої ціни електромобіля. І саме здешевлення батареї дозволить електромобілям стати конкурентоспроможними за ціною. Окрім того хаотичне (без контролю зі сторони енергосистеми) заряджання може суттєво посилити нерівномірність графіка електричного навантаження, спричинивши додаткове збільшення вечірнього пікового навантаження, оскільки більшість людей заряджатимуть свої автомобілі, повертаючись додому з роботи (за оцінками, вечірнє пікове навантаження може збільшитися на 8-10%). Це збільшення пікових навантажень матиме особливе значення для розподільчих мереж. Ще однією складністю буде поєднання часу пікового навантаження з географічним розподілом електромобілів, який неминуче буде нерівномірним у просторі. Міста і райони з високою концентрацією електромобілів або зарядних станцій виводитимуть місцеві підстанції за межі їх потужності.

Загрози щодо розвитку електромобільності пов'язані з відсутністю або обмеженим доступом до сировинної бази, в тому числі для виробництва акумуляторних батарей, непроста політична обстановка, жорсткі національні природоохоронні стандарти та інші нормативно-правові вимоги, обмеження землекористування, недостатня розвиненість супутньої інфраструктури, економічні чинники та ін. До того ж, зростання попиту на електромобілі вимагає нових проектів, а вони обходяться дуже недешево.

Результати виконання автором SWOT-аналізу наведено в табл.2.

Розглянувши досвід країн, які успішно розвивають електротранспорт, можна підсумувати, що загалом попит на електромобілі залежить від вартості електромобілів для кінцевого споживача, розвитку інфраструктури та державних програм стимулювання. Комерційні вантажні перевізники та приватний електротранспорт потребують детальних програм заохочення, підтримки та субсидій зі сторони держави. Реалізація програм «озеленення» транспорту дозволить Україні суттєво скоротити викиди парникових газів, що є необхідним для виконання зобов'язань за Паризькою кліматичною угодою. Перехід на електромобілі в Україні, при запланованій заміні української автотранспортної системи на електричну в обсязі 70%, сприятиме досягненню значних природоохоронних результатів.

Наведений аналіз виявив, що широке впровадження електромобілів має відбуватись водночас із розвитком відповідної супутньої інфраструктури, а також розвитком систем їх взаємодії з енергосистемою та відповідністю світовим екологічним стандартам. Незважаючи на вищу вартість електричного транспорту, його експлуатаційні витрати можуть виявитись суттєво нижчими, а за умови прогнозованого у майбутньому зниження вартості акумулятора, частка електротранспорту на ринку постійно зростатиме.

Таблиця 2. SWOT-аналіз перспектив розвитку електротранспорту в Україні.

Strenghts / Сильні сторони	Weaknesses / Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> -Екологічність, зменшення забруднення повітря (особливо у містах) -Стале зростання парку електромобілів в Україні, постійне зростання попиту -Закони, що набрали чинності в 2022 р.- “Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких законодавчих актів України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні” №1660-IX та “Про внесення змін до Митного кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні” №1661-IX -ККД електродвигуна 85-90% (ККД ДВЗ становить 30-35%) -Електромобіль більш ефективний в міському циклі з точки зору витрат енергії -Електроенергія значно дешевша за паливе, характеризується меншим коливанням цін -Сприятливі кліматичні умови -Наявність вже існуючого електротранспорту і інфраструктури -Висока частка приватного автомобілеволодіння -Розвинений ІТ- сектор (смартфони, мобільні додатки, тощо) -Наявність науково-дослідної бази для дослідження проектів розвитку електротранспорту та інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> -Висока ціна на нові електромобілі та висока ціна заміни ТАБ -Споживачі традиційно віддають перевагу автомобілям з ДВЗ та позашляховикам -Низька частка електромобілів у парку країни порівняно з автомобілями з ДВЗ -Відсутність додаткових стимулюючих заходів -85% електромобілів – вживані, з частково деградованою ТАБ -Необхідність щоденного заряджання, необхідність визначати час і місце -Відносно короткий пробіг та додаткове зниження запасу ходу взимку -Домінування маршрутних таксі з ДВЗ над електротранспортом -Відсутність достатньої кількості обладнаних паркувальних майданчиків для електротранспорту -Економічна нестабільність в Україні, зниження платоспроможності населення -Високі відсотки у сфері кредитування -Інтеграція електромобілів з енергосистемою – складний тривалий процес, який потребує розробки правил і узгодження дій всіх учасників на всіх рівнях (зарядна інфраструктура, енергоринок, ВДЕ, енергопостачальні компанії, тощо) -Відсутність власного виробництва електромобілів, ТАБ, пристроїв V2G
Opportunities / Можливості	Threats / Загрози
<ul style="list-style-type: none"> -Зниження емісії CO2 (виконання НВВП2) -Зменшення використання природного газу та нафтопродуктів, зниження залежності від імпорту енергоносіїв -Впровадження та розвиток інтелектуальних мереж Smart grid -Зростаюча кількість моделей електромобілів на ринку -Зростання популярності електромобілів -Впровадження програм стимулів та субсидій -Використання електротранспорту як споживача-регулятора електричного навантаження та як розподіленого (мобільного) накопичувача електроенергії -Використання системи VEHICLE-TO-GRID (V2G) -Збільшення гнучкості енергосистеми -Використання ТАБ як резерву живлення при аварійних ситуаціях в енергосистемі 	<ul style="list-style-type: none"> -Ймовірне подорожчання електроенергії -Подальший відтік працездатного платоспроможного населення (через війну, економічний спад чи відсутність перспектив для самореалізації) -Великий вторинний ринок більш доступних автомобілів з ДВЗ -Заряджання електромобілів прямо залежить від життєдіяльності людини і посилює нерівномірність ГЕН (особливо у зоні вечірнього піку) -Неконтрольоване заряджання спричиняє ряд негативних ефектів в енергосистемі (вплив на стабільність мережі та якість електроенергії) -Зношеність розподільчих електричних мереж -Прискорена деградація батареї при участі в системі V2G (збільшення циклів заряджання-розряджання)

На сьогодні спостерігається зростання попиту на електромобілі, проте відсутні економічні та правові важелі стимулювання використання тягових батарей у якості маневреного джерела, до того ж не затверджена на законодавчому рівні технологія V2G, відсутні технічні вимоги до відповідних зарядних станцій, а мережа стандартних зарядних станцій досі є недостатньо розвиненою [9].

Розвиток інфраструктури потужних станцій швидкісної зарядки в Україні потребує модернізації наявної електромережі та приведення її у відповідність до європейських стандартів, щоб забезпечити спроможність енергосистеми задовольняти потреби зарядної інфраструктури електромобілів, кількість яких невпинно зростає.

Такий план заходів обов’язково має передбачити:

1.Забезпечення комплексного інноваційного розвитку електротранспорту (що передбачає стимулювання виробництва електромобілів в Україні)

2.Впровадження економічних та інших заходів стимулювання використання в містах електромобілів, електробусів, а також електричного велосипедного транспорту (електросамокатів, електровелосипедів та електроскутерів, тощо).

3. Створення національної мережі швидкісних електрозарядних станцій для електромобілів вздовж доріг міжнародного значення.

4. Стимулювання перевізників для зменшення викидів забруднюючих речовин та парникових газів, зниження рівня шумів від транспортних засобів.

5. Створення інтерактивної карти сприятливих місць розташування зарядних станцій для електромобілів по Україні в цілому, та в регіональному розрізі зокрема.

6. Створення системи моніторингу та збору даних споживання електричної енергії зарядними станціями для електромобілів з метою забезпечення управління поптом та балансування енергетичної системи

7. Визначення на законодавчому рівні прав та обов'язків операторів електрозарядних станцій, порядок та умови участі їх на ринку електричної енергії, прав та обов'язків операторів системи розподілу, постачальників та споживачів під час використання електрозарядних станцій, удосконалення процедури приєднання електрозарядних станцій до мережі електричної енергії.

Окрім всіх наведених заходів необхідно також налагодити інформування суспільства про державну підтримку електричного транспорту, зокрема своєчасне і повсюдне інформування про пільги для електромобілів та певні обмеження для автомобілів з ДВЗ. Необхідно широко інформувати про переваги електромобілів у засобах масової інформації. Наприклад, про те, що технічний огляд власники Tesla проходять дистанційно, що дуже економить час, або про те, що електрокари значно безпечніші, ніж авто з ДВЗ, і це неодноразово доводили відповідні тести. Політика стимулювання широкого використання електротранспорту має бути відзначена в усіх ключових стратегіях розвитку України: економічній, енергетичній, екологічній, кліматичній та інфраструктурній.

Висновки.

1. Проведено аналіз перспектив розвитку електротранспорту та його інтеграції в енергосистему в умовах України з використанням методів стратегічного планування. Виявлено, що транспортний сектор в Україні має значний вплив на навколишнє середовище, є одним з найбільш енерговитратних секторів економіки, та крім того, транспорт з двигунами внутрішнього згорання є істотним фактором збільшення залежності від імпортного палива через стійкий та значний за обсягами попит на нафтопродукти. Саме електричний транспорт та технології його взаємодії з енергосистемою є однією з ключових технологій, які пропонують великий потенціал для пом'якшення наслідків зміни клімату. Таким чином, на сучасному етапі існує нагальна потреба в розробці стабільної політики сприяння цим технологіям, для чого необхідно визначити та порівняти особливості політики інтеграції електромобілів та енергосистеми в умовах України.

2. Виконано оцінку сильних і слабких сторін, можливостей і загроз (SWOT-аналіз), щоб максимально врахувати різні заходи та ініціативи, пов'язані з розвитком електротранспорту та його інфраструктури водночас із їх інтеграцією в енергосистему. Виконане дослідження виявило проблеми, пов'язані з впливом заряджання електромобілів на енергосистему, наприклад, неспроможності забезпечити підвищення потреб в енергії або обмеження електричного навантаження інфраструктури заряджання електромобілів. Натомість, високий відсоток частки ВДЕ, підвищення соціальної обізнаності про зміну клімату та зниження цін на електромобілі можуть забезпечити необхідні можливості для розвитку електротранспорту в умовах України.

3. Широке впровадження електромобілів водночас із розвитком відповідної супутньої інфраструктури, а також з урахуванням їх взаємодії з енергосистемою та відповідністю світовим екологічним стандартам, в перспективі може утворити в Україні новий сектор економіки і нового учасника енергосистеми (E-Mobility - електромобільність). Концепція розвитку електротранспорту в Україні має охоплювати всі його види – електричні легкові автомобілі, мікроавтобуси, пасажирські автобуси, вантажні автомобілі, тощо. Незважаючи на вищу вартість електричного транспорту, їх експлуатаційні витрати можуть виявитись суттєво нижчими, а за умови прогнозованого у майбутньому зниження вартості акумулятора, початкова вартість електромобілів фактично зрівняється з вартістю транспорту з ДВЗ, що прискорить стійке зростання частки електротранспорту в загальному автопарку країни.

Список використаної літератури:

1. Статистика: Реєстрація автомобілів з електричним приводом за 9 місяців 2022 року <https://fra.org.ua/uk/st/statistika/infoghrafika/reiestratsiyi-avtomobiliv-z-elektrichnim-privodom-za-9-misiatsiv-2022-roku> (дата звернення: 15.10.2022).
2. Електромобілі чи інфраструктура: що первинне? <https://ua-energy.org/uk/posts/elektromobili-chy-zariadna-infrastruktura-shcho-pervynne> (дата звернення: 15.10.2022).
3. Як в Україні розвивається інфраструктура зарядок для електромобілів <https://auto.rbc.ua/ukr/show/zaryadnaya-infrastruktura-1637906584.html> (дата звернення: 15.10.2022).
4. Про внесення змін до Розділу XX «Перехідні положення» Податкового Кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі екологічного транспорту в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1660-20#Text>. (дата звернення: 15.10.2022).

5. Про внесення зміни до пункту 4 розділу XXI «Прикінцеві та перехідні положення» Митного Кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі екологічного транспорту в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1661-20#Text>. (дата звернення: 15.10.2022).

6. Маємо стимулювати використання електромобілів в Україні та створити належну інфраструктуру <https://www.kmu.gov.ua/news/mayemo-stimulyuvati-vikoristannya-elektromobiliv-v-ukrayini-ta-stvoriti-nalezhnuu-infrastrukturu-vladislav-kriklij> (дата звернення: 15.10.2022).

7. Про схвалення Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.10.2022).

8. Стратегічний менеджмент: [навч. посібн.] / Н.Ю. Подольчак. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 400 с. (дата звернення: 25.10.2022).

9. Overview of European trends in electric vehicle implementation and the influence on the power system. System Research in Energy; 1(70), 62–71. http://srenergy.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_details&mid=20221&gid=643&lang=en

G. Kostenko¹, ORCID 0000-0002-8839-7633

¹**Institute of General Energy on NAS of Ukraine**

SITUATION ANALYSIS OF ELECTRIC TRANSPORT DEVELOPMENT PROSPECTS AND ITS INTEGRATION INTO UKRAINIAN POWER SYSTEM

Abstract. *An analysis of the prospects for the development of electric transport and its integration into the energy system in the conditions of Ukraine was carried out using strategic planning methods. It was found that the transport sector in Ukraine has a significant impact on the environment, is one of the most energy-consuming sectors of the economy, and, in addition, transport with internal combustion engines is a significant factor in increasing dependence on imported fuel due to a steady and significant demand for petroleum products. Instead, it is electric transport and technologies for its interaction with the power system that are one of the key technologies that offer great potential for mitigating the effects of climate change. Thus, at the current stage, there is an urgent need to develop a stable policy of promoting these technologies, for which it is necessary to determine and compare the features of the policy of integration of electric vehicles and the energy system in the conditions of Ukraine. This study uses a qualitative strategic planning methodology using a Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) analysis to take into account as much as possible the multifaceted activities and initiatives related to the development of electric transport and its infrastructure while integrating them into the power system. The research conducted reveals problems related to the impact of electric vehicle charging on the power system, for example, the inability to provide for increased energy needs or to limit the electrical load of the electric vehicle charging infrastructure. On the other hand, a high percentage of the share of RES, increasing social awareness of climate change and lowering the prices of electric vehicles can provide the necessary opportunities for the development of electric transport in the conditions of Ukraine.*

Keywords: *electric vehicle; SWOT analysis, development prospects; sustainable mobility.*

References:

1. Statistics: Registration of EV for 9 months of 2022. URL: <https://fra.org.ua/uk/st/statistika/infoghrafika/reiestratsiyi-avtomobiliv-z-elektrichnim-privodom-za-9-misiatsiv-2022-roku> (Last accessed: 15.10.2022).

2. Elektromobili chy infrastruktura: shcho pervynne? <https://ua-energy.org/uk/posts/elektromobili-chy-zariadna-infrastruktura-shcho-pervynne> (Last accessed: 15.10.2022).

3. Іак в Україні розвивається інфраструктура зарядок для електромобілів <https://auto.rbc.ua/ukr/show/zaryadnaya-infrastruktura-1637906584.html> (Last accessed: 15.10.2022).

4. Про внесення змін до Розділу KhKh «Перехідні положення» Податкового Кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі екологічного транспорту в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1660-20#Text>. (Last accessed: 15.10.2022).

5. Про внесення зміни до пункту 4 розділу KhKh «Прикінцеві та перехідні положення» Митного Кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі екологічного транспорту в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1661-20#Text>. (Last accessed: 15.10.2022).

6. Маємо стимулювати використання електромобілів в Україні та створити належну інфраструктуру <https://www.kmu.gov.ua/news/mayemo-stimulyuvati-vikoristannya-elektromobiliv-v-ukrayini-ta-stvoriti-nalezhnuu-infrastrukturu-vladislav-kriklij> (Last accessed: 15.10.2022).

7. Про схвалення Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-%D1%80#Text> (Last accessed: 20.10.2022).

8. Стратегічний менеджмент: [навч. посібн.] / Н.Ю. Подольчак. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 400 с.

9. Overview of European trends in electric vehicle implementation and the influence on the power system. System Research in Energy; 1(70), 62–71. http://srenergy.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_details&mid=20221&gid=643&lang=en

Надійшла 4.01.2023

Received 4.01.2023

ПРОГРАМНО-ЦІЛЬОВИЙ ПІДХІД РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА РІВНІ РЕГІОНУ

Розглянуто характерні риси та особливості розробки регіональної Програми, що формується з метою вирішення проблем розвитку відновлюваної енергетики та енергетичного комплексу Луганської області. Досліджено програмно-цільовий підхід, що дає можливість забезпечення концентрації фінансових, матеріально-технічних, інших ресурсів, а також координації діяльності місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, територіальних органів міністерств та інших центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій для розв'язання найважливіших проблем у випадку, якщо зазначені проблеми не можуть бути розв'язані ними самостійно.

В статті приведено результати використання методу програмно-цільового управління в різних областях України, показано передусім його особливості та переваги: він дає змогу здійснювати повний цикл управлінського процесу – від постановки завдання до оцінки результату й ефективності бюджетних витрат.

Результати досліджень показали, що програми містять прозорий механізм моніторингу, оцінки, контролю і прийняття рішень, що дозволяє удосконалювати систему прийняття рішень щодо розроблення, аналізу, впровадження програм і розподілу ресурсів. Переваги програмно-цільового методу визначили його як важливий інструмент управління, орієнтованого на результат.

Ключові слова: програмно-цільове управління, відновлювана енергетика, регіональна програма, енергетичні ресурси, енергозбереження, стратегічний розвиток, державне управління.

Вступ

Проблеми програмно-цільового регулювання та стійкого розвитку знаходяться у центрі уваги багатьох вчених. Абрамов Л.К., Азарова Т.В. Волошин О.Л. досліджують теоретичні та практичні аспекти програмно-цільового методу управління на регіональному рівні. Особливий акцент дослідники роблять на методиці забезпечення прозорості процесу реалізації цільових програм та залученні громадськості до цього процесу [1, 2]. Амоша О.І., Міхальова К.В. обґрунтовують комплекс заходів, орієнтованих на покращення рівня та якості фінансування реалізації цільових програм[3]. З нашого погляду, особливо важливим цей процес розглядається в умовах наслідків розв'язаного РФ збройного нападу на території України, що не тільки унеможливує процес розвитку альтернативної енергетики на регіональному рівні, але й сталося так, що енергетична інфраструктура Луганської області зруйнована і потребує новітнього відбудовування.

Наукові опрацювання з питань визначення реалізації процесів управління розвитком відновлюваної енергетики, та як основної його складової - безперервного інноваційного розвитку альтернативних енергетичних джерел не дають змоги сформувати повного й однозначного уявлення про цілісність і системність означеного підходу. Слід зазначити, що недостатньо опрацьованими залишаються питання координації учасників управлінських дій на рівні регіону.

Для усіх розвинених країн світу електроенергетика є однією з найважливіших галузей національного господарства, що автоматично висунуло її в розряд базових, стратегічно важливих, потрібних для нормального функціонування всіх галузей промисловості й комунальних підприємств, транспорту, сільського господарства, розвитку економіки й створення прийнятних соціальних умов для населення відповідно до рівня розвитку сучасного суспільства.

Відновлювані енергетичні ресурси визначаються як такі, що безперервно відновлюються природою (торф, деревина й трав'яна маса) або утворюються як результат життєдіяльності людини (тверді побутові відходи, осад станцій очищення комунальних стічних вод, тепла та кінетична енергія стічних вод, органічні відходи промисловості тощо), і швидкість їх відновлювання співставна з темпами використання людьми. Якщо втрата відновлюваних ресурсів починає перевищувати розміри їх природного відтворення, ресурси вичерплюються [4]. Також, необхідно зазначити, що проблеми неефективності державного управління викликають необхідність вирішення питань при виникненні негативних екстерналій, за рахунок введення жорсткіших заходів в області природоохоронної діяльності на виробництвах.

Мета дослідження

Метою дослідження є виявлення суттєвих розбіжностей, які є приводом для проведення детального

аналізу усіх достоїнств і недоліків у визначенні оптимальних управлінських та технічних рішень, а також сфер застосування енергосистем на основі альтернативних енергоресурсів.

Матеріал та результати досліджень

Завдання у сфері енергозбереження та енергоефективності наявні у кожному регіоні України, але ситуація є критичною для Луганщини, оскільки область характеризується надзвичайно високим рівнем енерговитрат, внаслідок незбалансованої структури енергоспоживання та нераціонального використання енергетичних ресурсів (природний газ, електроенергія, тепло) через застосування застарілих технологій з низьким коефіцієнтом корисної дії та приладів обліку, або їх відсутністю. Як результат щорічні втрати теплової енергії перевищують 12%. Практично всі підприємства комунальної теплоенергетики є збитковими, знаходяться у критичному фінансовому стані.

Одночасно поширення відновлюваної енергетики та енергоефективності в Луганській області посідає останні місця у порівнянні з вибраними областями України.

Через відсутність обласної ради в Луганській області внаслідок початку військового конфлікту, програмно-цільовий метод на рівні обласного бюджету було застосовано лише у 2018 році.

Таблиця 1. Рівень поширення відновлюваної енергетики та енергоефективності в Луганській області [5]

Регіон	Частка обсягу теплової енергії, виробленої в регіоні з альтернативних видів палива або відновлюваних джерел енергії за звітний період, відсотків до загального обсягу виробленої теплової енергії в регіоні за звітний період		Рівень впровадження енергозберігаючих джерел світла у зовнішньому освітленні населених пунктів, відсотків до загальної кількості світлоточок		Частка оснащення багатоквартирних житлових будинків побудинковими приладами обліку теплової енергії, відсотків до загальної кількості багатоквартирних будинків, які підлягають оснащенню		Частка сумарної потужності котелень на альтернативних видах палива в регіоні, відсотків до загальної потужності котелень регіону	
	%	місце	%	місце	%	місце	%	місце
Донецька	1,0	24	36,3	22	57,7	21	06	24
Луганська	2,2	22	66,8	3	24,8	23	1,2	23
Миколаївська	23,0	6	59,1	8-9	97,7	1	18,5	7
Рівненська	20,9	7	58,9	10	88,8	8	20,0	6
Черкаська	7,6	16	63,5	4	97,6	2	5,2	19

Як бачимо, основним завданням в сфері енергетичних систем та енергозбереження є об'єднання регіональної та національної енергетичних систем, стратегічним напрямом якої має стати сприяння енергоефективності та розвитку альтернативної енергетики, зокрема впровадження заходів, спрямованих на поступове заміщення нерентабельних котелень на нові блочно-модульні котельні з сучасним теплогенеруючим обладнанням, яке здатне працювати на альтернативному паливі, термомодернізації будівель [6].

Вибір методу програмно-цільового управління зумовлений передусім його особливостями та перевагами: він дає змогу здійснювати повний цикл управлінського процесу – від постановки завдання до оцінки результату й ефективності бюджетних витрат.

Крім того, програми містять прозорий механізм моніторингу, оцінки, контролю і прийняття рішень. Іншими словами, це система прийняття рішень щодо розроблення, аналізу, впровадження програм і розподілу ресурсів. Переваги програмно-цільового методу визначили його як важливий компонент моделі бюджетування, орієнтованого на результат.

Регіональна цільова програма – це документ, що містить комплекс взаємопов'язаних завдань і заходів, які спрямовані на розв'язання найважливіших проблем розвитку, області, її окремих галузей економіки або адміністративно-територіальних одиниць, здійснюються з використанням коштів обласного бюджету (загального чи спеціального фонду) та узгоджені за строками виконання, складом відповідальних виконавців і ресурсним забезпеченням.

Програма розробляється з метою вирішення проблем розвитку окремої галузі чи території, забезпечення концентрації фінансових, матеріально-технічних, інших ресурсів, а також координації діяльності місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, територіальних

органів міністерств та інших центральних органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій для розв'язання найважливіших проблем у випадку, якщо зазначені проблеми не можуть бути розв'язані ними самостійно.

Регіональна цільова програма повинна узгоджуватись зі щорічною програмою економічного і соціального розвитку області.

При цьому Порядком термін регіон тлумачиться, як суб'єкт системи адміністративно-територіального устрою, яким є Луганська область. Тобто по суті більш доречним такі програми було би називати обласними.

Ініціатором розроблення програм можуть бути структурні підрозділи обласної державної адміністрації та її апарату, обласна рада.

Відповідальним виконавцем Програми може бути тільки юридична особа, що має окремий рахунок та бухгалтерський баланс.

Програма розробляється за наявності таких умов:

існування проблеми на рівні регіону, розв'язання якої потребує залучення бюджетних коштів, координації спільних дій місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування, підприємств, установ та організацій;

наявність у місцевому бюджеті реальної можливості ресурсного забезпечення виконання заходів Програми та відповідність мети Програми пріоритетним напрямкам розвитку регіону.

При цьому Програма не повинна мати аналогів, а її заходи – дублювати заходи інших регіональних програм.

Проект Програми повинен містити такі складові частини (розділи):

- паспорт Програми;
- визначення проблеми, на розв'язання якої спрямована Програма;
- визначення мети Програми;
- аналіз факторів впливу на проблему та ресурсів для реалізації (SWOT-аналіз);
- обґрунтування шляхів і засобів розв'язання проблеми, обсягів та джерел фінансування, строки та етапи виконання Програми;
- перелік завдань і заходів Програми та результативні показники;
- напрями діяльності та заходи Програми;
- ресурсне забезпечення;
- координація та контроль за ходом виконання Програми;
- розрахунок очікуваних результатів.

Паспорт Програми. Розділ містить назву Програми, визначення ініціатора, розробника, співрозробника, відповідального виконавця, учасників, дату, номер і назву розпорядчого документа органу виконавчої влади про розроблення Програми, строки і етапи виконання, перелік місцевих бюджетів, які беруть участь у виконанні Програми, загальні обсяги фінансування, очікувані результати виконання.

Визначення проблеми, на розв'язання якої спрямована програма. Розділ повинен містити характеристику стану та головних проблем у відповідній сфері діяльності, аналіз причин виникнення та обґрунтування необхідності їх вирішення шляхом виконання Програми.

Зазначене визначення проблеми в обов'язковому порядку повинно мати обґрунтування щодо віднесення її до найважливіших з використанням офіційних статистичних даних, як правило, не менше ніж за 5 останніх років.

Здійснюється аналіз виконання прийнятих раніше програм з аналогічних проблем, для вирішення яких розроблятиметься проект, та обґрунтовується неможливість розв'язання проблеми в рамках цих програм.

Визначення проблеми є основою для формулювання мети та всіх інших розділів проекту Програми. Аналіз причин виникнення проблем формулюється і здійснюється у чіткій послідовності шляхом нумерації окремими пунктами.

Обґрунтування необхідності розв'язання проблеми шляхом розроблення і виконання Програми здійснюється за наявності сукупності умов, щодо проблеми обласного рівня та реальної можливості ресурсного забезпечення її вирішення. При цьому вказані обґрунтування слід надавати щодо кожної з умов.

Аналіз причин виникнення проблеми слід доповнити аналізом причин неможливості їх реалізації в рамках Програми економічного і соціального розвитку області або програм економічного і соціального розвитку міст і районів області.

Мета Програми повинна поєднувати комплекс взаємопов'язаних завдань і заходів, які спрямовані на розв'язання найважливіших проблем розвитку регіону, окремих галузей економіки та адміністративно-територіальних одиниць[7].

Результативні показники наводяться диференційовано з розбивкою за роками. У разі коли Програма виконується не за один етап, результативні показники другого та третього етапів можуть визначатися без розбивки за роками.

У разі отримання позитивного висновку Департаменту фінансів проект Програми подається до Департаменту економічного розвитку, торгівлі та туризму обласної державної адміністрації, який здійснює експертизу визначення результативних показників, реальності та доцільності включених до неї заходів тощо.

За відсутності зауважень Департаменту економічного розвитку проект Програми в установленому порядку подається на затвердження.

За затвердженою Програмою головний розпорядник коштів до 15 вересня року, що передує плановому, надає Департаменту фінансів обласної державної адміністрації бюджетний запит щодо її фінансування за рахунок коштів обласного бюджету.

Департамент фінансів обласної державної адміністрації аналізує подані бюджетні запити щодо реальних можливостей бюджету і включає пропозиції до проекту обласного бюджету на відповідний рік (проекту внесення змін до бюджету).

Аналіз порядків інших областей свідчить, що за структурою програм та змістовним наповненням їх розділів вони в цілому не відрізняються. Разом з тим, існує низка відмінностей у процедурах розробки, погодження, фінансування програм та звітності за ними (табл. 2).

Таблиця 2. Відмінності в порядках розроблення регіональних цільових програм, фінансування, моніторингу та звітності про їх виконання областей України

Луганська область	Львівська область	Одеська область	Чернігівська область
Ініціювання розробки проекту програми			
Процедура ініціювання розробки проекту програми виключена	Рішення про доцільність розробки приймає голова облдержадміністрації або його перший заступник	Рішення про доцільність розробки приймає голова облдержадміністрації	Рішення про доцільність розробки приймає голова облдержадміністрації
Застосування програмно-цільового методу у бюджетному процесі при розробці регіональних цільових програм			
не передбачено	передбачено	не передбачено	не передбачено
Проходження проекту програми процедури консультацій з громадськістю			
не передбачено	з метою забезпечення громадського обговорення, проект Програми може розміщуватися на сайті облдержадміністрації	з метою широкого обговорення проект програми може розміщуватися на сайті Одеської обласної державної адміністрації	в обов'язковому порядку консультації з громадськістю у формі публічного громадського обговорення та/або електронних консультацій
Кошти, які передбачає звітність про стан фінансування програм			
державний бюджет, обласний бюджет, районний, міський (міст обласного значення) бюджети, бюджети сіл, селищ, міст районного значення, кошти не бюджетних джерел	кошти обласного бюджету, інші джерела	державний бюджет, обласний бюджет, районний, міський (міст обласного значення) бюджети, бюджети сіл, селищ, міст районного значення, кошти не бюджетних джерел	державний бюджет, обласний бюджет, районний, міський (міст обласного значення) бюджети, бюджети сіл, селищ, міст районного значення, кошти не бюджетних джерел

Як ми бачимо з наведеної таблиці найбільш передовим у сфері розробки, реалізації регіональних цільових програм є досвід Львівської області. Також варто відзначити напрацювання цієї області у сфері публічності реалізації регіональних програм.

Так на сайті Львівської обласної ради у розділі «обласні програми» розміщені не лише переліки регіональних цільових програм, як на багатьох сайтах інших областей, а також можна ознайомитись з самими програмами, рішеннями про їх затвердження та внесення змін до них, презентаціями, щоквартальними звітами про стан їх реалізації, плановими та фактичними обсягами фінансування, напрямками використання коштів та досягнутими результатами.

Фінансування Програми здійснюється виключно за умови затвердження бюджетних призначень на її виконання рішенням обласної ради про обласний бюджет на відповідний рік (рішення про внесення змін до обласного бюджету на відповідний рік), згідно з розподілом видатків обласного бюджету.

Департамент економічного розвитку, торгівлі та туризму обласної державної адміністрації здійснює узагальнення звітів відповідальних виконавців про поточне та остаточне виконання регіональних програм, проводить аналіз вказаних звітів та включає його результати до щорічного звіту про виконання програми соціально-економічного розвитку регіону.

Фінансування Програми здійснюється виключно за умови затвердження бюджетних призначень на її виконання рішенням обласної ради про обласний бюджет на відповідний рік (рішення про внесення змін до обласного бюджету на відповідний рік), згідно з розподілом видатків обласного бюджету.

Департамент економічного розвитку, торгівлі та туризму обласної державної адміністрації здійснює узагальнення звітів відповідальних виконавців про поточне та остаточне виконання регіональних програм, проводить аналіз вказаних звітів та включає його результати до щорічного звіту про виконання програми соціально-економічного розвитку регіону.

Висновки та рекомендації

Отже проведений аналіз свідчить про особливий підхід кожної з областей України до розробки та реалізації регіональних цільових програм, тому існує необхідність у вивченні найкращих практик у цій сфері та їх практичного впровадження на території Луганської області. Необхідне подальше вивчення можливостей розвитку комплексу відновлюваної енергетики на території регіону. Енергетика грає виключно важливу роль в забезпеченні сталого і безпечного розвитку суспільства. Враховуючи ресурсний критерій вирішальне значення мають достатність і надійність забезпечення електрикою і теплом зростаючих потреб господарства і населення, з точки зору якості життя — екологічна чистота виробництва енергії, у зв'язку з тим, що традиційна енергетика дає приблизно половину світових об'ємів техногенних викидів парникових газів і шкідливих речовин в довкілля. Відновлювана енергетика стає одним із базових напрямів розвитку технологій у світі.

Перспективами подальших досліджень є визначення особливостей програмно-цільового управління на галузевому рівні.

Список використаної літератури:

1. Стегней М.І. Сучасні напрями забезпечення сталого розвитку сільських територій: Європейський досвід та українські реалії. Актуальні проблеми економіки. - 2013. - № 3. - С. 125-133.
2. Волошин О.Л. Розвиток альтернативної енергетики в Україні: сучасний стан та результативність механізмів державного регулювання. Актуальні проблеми державного управління : зб. наук. пр. Нац. акад. держ. упр. при Президенті України, 2015. - № 1. - С. 176-181
3. Амоша О.І., Міхальова К.В. Про фінансове забезпечення реалізації програм сталого соціально-економічного розвитку. Ефективна економіка. - 2014. - №1. - <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2703> (дата звернення 25.09.2022).
4. Агапова О.Л. Альтернативні енергетичні ресурси як об'єкт картографування. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. - Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. - Вип. 1-2. - С. 95-102.
5. Стратегія розвитку Луганської області на 2021-2027 роки. Режим доступу: http://loga.gov.ua/sites/default/files/collections/strategiya_lugansk_2027_last.pdf (дата звернення 26.09.2022).
6. Герасимчук В. Г., Романюк О.В Тенденції розвитку відновлюваної енергетики у світі і в Україні. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. - 2014.— Вип. 1 - С. 4-8.
7. Енергетична стратегія України на період до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс]. Стратегія. Розпорядження Кабінету Міністрів України від № 605-р 18.08.2017. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p> (дата звернення 26.09.2022).

Derzhak Nataliy¹, Cand. Sc. (Econ), Assoc. Prof., ORCID - 0000-0003-0121-621X
Morneva Maryna², Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID - 0000-0002-2447-1339

¹**KROK University**

²**Eastern Ukrainian National University named after Vladimir Dahl**

PROGRAM-TARGET APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF MANAGEMENT PROCESSES IN THE RENEWABLE ENERGY SYSTEM AT THE LEVEL OF THE REGION

The characteristic features and peculiarities of the development of the regional Program, which is formed to solve the problems of the development of renewable energy and the energy complex of the Luhansk region, are considered. A program-targeted approach was studied, which makes it possible to ensure the concentration of financial, material and technical, other resources, as well as the coordination of the activities of local executive

bodies and local self-government bodies, territorial bodies of ministries and other central bodies of executive power, enterprises, institutions and organizations for the development solving the most important problems in the event that the specified problems cannot be solved by them on their own.

The article presents the results of using the program-target management method in various regions of Ukraine, first of all, its features and advantages are shown: it makes it possible to carry out a full cycle of the management process - from setting the task to evaluating the result and effectiveness of budget expenditures.

The research results showed that the programs contain a transparent monitoring, evaluation, control and decision-making mechanism, which allows to improve the decision-making system regarding the development, analysis, implementation of programs and resource allocation. The advantages of the program-target method have determined it as an important tool of result-oriented management.

Keywords: program-target management, renewable energy, regional program, energy resources, energy saving, strategic development, state management.

References

1. Stehnei M.I. Suchasni napriamy zabezpechennia staloho rozvytku silskykh terytorii: Yevropeiskyi dosvid ta ukraïnski realii. Aktualni problemy ekonomiky. - 2013. - № 3. - S. 125-133.
2. Voloshyn O. L. Rozvytok alternatyvnoi enerhetyky v Ukraini: suchasnyi stan ta rezultatyvnist mekhanizmiv derzhavnoho rehuliuвання. Aktualni problemy derzhavnoho upravlinnia : zb. nauk. pr. Nats. akad. derzh. upr. pry Prezydentovi Ukrainy, 2015. - № 1. - S. 176-181.
3. Amosha O.I., Mikhalova K. V. Pro finansove zabezpechennia realizatsii proham staloho sotsialno-ekonomichnoho rozvytku. Efektyvna ekonomika. - 2014. - №1. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2703>. [Accessed: 25-Sept-2022].
4. Ahapova O. L. Alternatyvni enerhetychni resursy yak ob'iekt kartohrafuvannia. Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii. – Kh.: KhNU im. V. N. Karazina, 2015. – Vyp. 1-2. – S. 95-102.
5. Stratehiia rozvytku Luhanskoi oblasti na 2021-2027 roky. Available at: http://loga.gov.ua/sites/default/files/collections/strategiya_lugansk_2027_last.pdf. [Accessed: 25-Sept-2022].
6. Herasymchuk V. H., Romaniuk O.V Tendentsii rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky u sviti i v Ukraini. Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. – 2014. – Vyp. 1 – S. 4-8.
7. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku: «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» [Elektronnyi resurs]. Stratehiia. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid № 605-r 18.08.2017. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-r>. [Accessed: 26-Sept-2022].

Надійшла 20.10.2022
Received 20.10.2022

ДЕРЖАВНИЙ РИНКОВИЙ НАГЛЯД ЗА ЯКІСТЮ МОТОРНИХ ПАЛИВ, ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Якість моторних палив під час споживання є запорукою надійності експлуатації транспортних засобів, ефективності роботи машин, механізмів та іншого устаткування. Зважаючи на токсичні, канцерогенні, пожежо-, вибухонебезпечні властивості, моторні палива належать до надзвичайно небезпечних речовин, нехарчової продукції з підвищеним ступенем ризику для усіх категорій споживачів незалежно від способу і методу їх використання. Зокрема, відпрацьовані гази токсичних речовин під час внутрішнього згоряння, становлять небезпеку для навколишнього середовища, життя та здоров'я людини.

Належний контроль за якістю моторних палив, прийняття стратегічних управлінських рішень для безпечного їх обігу є головною складовою для подальшого розвитку нафтогалузі в Україні, забезпечення потреб та задоволеності споживачів, попиту нафтопродуктів на міжнародному рівні, зокрема розвитку вільної торгівлі.

У статті наведені стандарти та вимоги щодо якості моторних палив, відображено результати експертиз (випробувань) зразків автомобільних бензинів та дизельного пального проведених у 2021 році. Наведено можливі причини неякісного пального та запропоновано заходи щодо їх подолання. Для проведення експертиз (випробувань) було відібрано 196 зразків автомобільних бензинів та 111 зразків дизельного пального. За результатами експертиз (випробувань) невідповідність вимогам Технічному регламенту було виявлено у 24,9% зразків автомобільних бензинів та у 19,8% зразків дизельного пального. Однією з причин неякісного пального є безконтрольне застосування добавок (присадок) суб'єктами господарювання, не належний внутрішній контроль палива під час змішування, у тому числі під час зберігання, транспортування та введення в обіг нехарчової продукції.

Також зазначається, що однією з передумов на шляху створення на ринку України якісного пального, необхідно провести заходи щодо узгодженості чинних законодавчих актів, внесення змін або розроблення нових нормативних документів у сфері якості та контролю за нафтопродуктами, оновлення державних стандартів, проведення науково-дослідних робіт, та імплементації вимог Європейського Союзу у чинні акти України. Зокрема важливим аспектом є розроблення ланцюга моніторингу та контролю на різних етапах циклу виробництва, оброблення (змішування), визначення доцільності застосування добавок, присадок (барвників) до продукції зважаючи на фізико-хімічні властивості палива, динамічні й механічні показники двигунів транспортних засобів.

Ключові слова: *технічний регламент, державний ринковий нагляд, фізико-хімічні показники, якість моторних палив.*

Вступ

Програмою діяльності Кабінету Міністрів України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 № 471, Планом організації виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30.07.2021 «Про заходи з нейтралізації загроз в енергетичній сфері» введеного в дію Указом Президента України від 28.08.2021 № 452, Стратегією зовнішньополітичної діяльності України, введеного в дію Указом Президента України від 26.08.2021 № 448, центральним органам виконавчої влади визначені завдання, серед яких головним є забезпечення задоволеності потреб споживачів у якісних нафтопродуктах, належного контролю за обігом палив в Україні, прийняття та оновлення технічних регламентів, впровадження дієвої системи швидкого оповіщення про небезпечні нехарчові продукти [1, 2].

Номенклатура показників якості, критерії класифікації видів палива, їх властивості відображено у працях небагатьох вчених серед яких є: С.В. Бойченко, Л.М. Черняк, В.Ф. Новикова, Галла-Бобик С.В., Сухарев С.М., Петрус А.В., Бурлака В.Г., Караулов А.К., Худолій Н.Н., Шпак О.І. [3-8], які порушують низку актуальних питань пов'язаних з властивостями показників моторних палив на роботу двигунів, та обладнання, безпеки навколишнього середовища при утворенні та скупченні шкідливих речовин у атмосферному повітрі з парами відпрацьованих газів, ін.

Директивою 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 жовтня 1998 р. про якість бензину та дизельного палива та внесення змін і доповнень до Директиви Ради 93/12/ЄС, Директивою 2009/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 квітня 2009 р. про внесення змін до Директиви 98/70/ЄС,

визначені технічні вимоги щодо бензинів, дизельного пального, газойлів, а також механізм, який дозволяє скорочувати викиди парникових газів, зменшення вмісту сірки у деяких видах рідких палив [9-10].

Зважаючи на значний обсяг та попит як імпортованого, так і вітчизняного виробництва моторних палив, питання якості, контролю, їх обігу на ринку України, особливо для палив, які містять у своєму складі добавки, присадки та барвники (що додаються під час «поліпшення їх якості»), залишаються на сьогодні пріоритетними та невідкладними.

Мета та завдання

Метою роботи є аналізування причин неякісного обігу пального на ринку України, шляхів вирішення проблемних та актуальних питань з метою забезпечення продовольчої безпеки споживачів, використання якісних паливо-енергетичних ресурсів, нейтралізації загроз у сфері охорони довкілля.

Матеріал та результати досліджень

Технічний регламент щодо автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927 (далі – Технічний регламент) розроблений на основі директив ЄС, та встановлює вимоги до автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив, що вводяться в обіг та реалізуються на території України [11].

Переліком видів продукції, щодо яких органи державного ринкового нагляду здійснюють державний ринковий нагляд, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1069, Положення про Державну екологічну інспекцію України затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 19.04.2017 № 275, Держекоінспекція забезпечує заходи за дотриманням вимог Технічного регламенту, та здійснює свої повноваження у порядку, що передбачений Законом України «Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції» [12-14].

Упродовж 2021 року у межах заходів державного ринкового нагляду з перевірки характеристик продукції, за результатами проведених експертиз (випробувань) зразків автомобільних бензинів (196 зразків) та дизельного пального (111 зразків) Держекоінспекцією виявлено продукцію, що становило небезпеку, у кількості 244,4 т (320651,8 л), продукції виду: А-92-Євро5-Е5, А-95-Євро5-Е5, 95-Євро5-Е5 "Premium", 95-Євро5-Е5 "Shebel", ДП-3-Євро5-В0, ДП-Л-Євро5-В0, ДП-3-Євро5-В0 "Shell V-Power", ДП-3-Євро5-В0 "Premium", ДП-3-Євро5-В0 "Energy" [15].

Невідповідність вимогам Технічному регламенту виявлено у 48 зразках (24,9%) автомобільних бензинів та у 22 зразках (19,8%) дизельного пального та відмічалось переважно за такими фізико-хімічними показниками як: вміст сірки, детонаційна стійкість, об'ємна частка бензолу, масова частка кисню, об'ємна частка кисневмісних сполук, температура спалаху в закритому тиглі. Співвідношення невідповідності пального Технічному регламенту до відповідності таким вимогам для пального виду дизельне пальне становило 1:5, для автомобільних бензинів –1:4 [16].

За результатами заходів державного ринкового нагляду головними причинами обігу неякісного пального на ринку України є:

- недотримання суб'єктами господарювання вимог Інструкції з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України, затверджений наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики Міністерства палива та енергетики України від 04.06.2007 № 271/121 [17], Положення про технологічні регламенти на виробництво продукції на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості України, затвердженого наказом Міністерства палива та енергетики України від 23.07.2007 № 345 [18], а саме при прийманні, зберіганні, транспортуванні, відпуску нафтопродуктів, застосуванні технологічних процесів «поліпшення якості» палив (застосування добавок, присадок, барвників), заходи внутрішнього контролю суб'єктами господарювання не здійснюються, технічні регламенти (технічні інструкції) належним чином не розроблюються, не впроваджуються, або загалом відсутні;

- не застосування імпортерами або уповноваженими особами процедури оцінки відповідності, у тому числі не проведення досліджень і випробувань з метою перевірки відповідності продукції вимогам Технічного регламенту;

- документи про якість (паспорти якості) видаються лабораторіями, у яких відсутня відповідна сфера акредитації на проведення таких випробувань, у тому числі перенесення у документи про якість фізико-хімічних показників з паспортів якості заводу виробника без фактичного проведення експертизи (випробувань);

- підrobка документів про якість, сертифікатів відповідності, інших документів;

- багаторазові операції купівлі-продажу нафтопродуктів (імпортерами «уповноваженими особами», розповсюджувачами) під час митного оформлення, обігу на території України, що призводить до ускладнень або неможливості відстежити повний (швидкий) ланцюг постачання продукції;

- видача ліцензій на оптову торгівлю паливом за відсутності місць оптової торгівлі, зокрема за місцезнаходженням суб'єкта господарювання або місцезнаходженням постійного представництва. Переважно реєстрація та місцезнаходження таких суб'єктів господарювання відмічається за адресою приватних квартир будинків багатоповерхівок, приватній території, доступ до яких має певні перешкоди: домофон, охороні фірми, реєстрація на одній території декілька суб'єктів господарської діяльності;

- застарілість законодавчих актів, державних стандартів, відсутність реєстрів щодо імпортованої продукції, виробників, постачальників;
- відсутність проведення наукових досліджень щодо якості добавок, присадок їх вплив на якість палива, загалом встановлених вимог до застосування таких присадок в установленому порядку.

Зважаючи на статті 133, 156, 290, 292, 338, 360 Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Угодою наголошено про забезпечення якісного та безпечного споживчого ринку нафтопродуктів, запровадження заходів спрямованих на скорочення викидів в атмосферне повітря, у тому числі зменшення в нафтопродуктах вмісту сірки, та інших небезпечних речовин, впровадження регуляторних актів ЄС для поступового наближення економіки України до спільного ринку ЄС, як зони вільної торгівлі [19].

Враховуючи наведене, з метою вирішення проблемних актуальних питань, на шляху створення безпечного ринку моторних палив на території України, необхідно:

- розробити та впровадити дієві механізми, стратегічні програми, які передбачатимуть моніторинг, аналізування усіх етапів та процесів, які відбуваються під час виробництва, обігу, впровадження технологічних процесів;
- визначити доцільність застосування добавок та присадок, зважаючи на їх якість та ураховуючи експлуатаційні показники палив при зміні їх фізико-хімічних властивостей, у тому числі, проведення наукових досліджень щодо безпечності та екологічності добавок, присадок, вмісту їх хімічних речовин;
- забезпечення внутрішнього контролю під час технологічних процесів, та упровадження контролю з боку органів виконавчої влади за такими процесами;
- посилити вимоги щодо видачі документів дозвільного характеру як на оптову, так і на роздрібну торгівлю паливом, виробництво, зберігання палив;
- контролю щодо наявності у суб'єктів господарювання відповідного обладнання та устаткування для провадження відповідного виду господарської діяльності.

Вагомим внеском у напрямі якісного обігу ринку моторних палив на території України буде співпраця та обмін досвідом з країнами ЄС: вивчення нормативно-правових документів у сфері якості, контролю під час обігу пального, зокрема вжиття заходів з імплементації технічних рішень ЄС, європейських стандартів до українського законодавства.

Висновки

Враховуючи наведене, контроль за якістю нафтопродуктів є невід'ємною складовою для забезпечення їх якості, безпечності, задоволеності потреб споживачів на всіх етапах виробництва, обігу та розповсюдження палив на ринку України.

Імплементація європейських стандартів в українське законодавство забезпечить впровадження загальнонаціональних пріоритетів розвитку держави, національну безпеку держави, прийняття належних управлінських рішень, створення позитивної комунікативної політики між органами виконавчої влади, суб'єктами господарської діяльності, споживачами, інститутами громадянського суспільства.

Список використаної літератури

1. Про затвердження Програми діяльності Кабінету Міністрів України: постанова Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 № 471. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/471-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.10.2022).
2. Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2021 рік: розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.03.2021 № 276-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/276-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.10.2022).
3. Моторні палива: властивості та якість: підручник / Сергій Бойченко та ін. Київ: «Центр учбової літератури», 2017. 324 с.
4. Газ природний, палива та оливи: монографія / Андрійшин М.П., Марчук Я.С., Бойченко С.В., Рябоконь Л.А.: Одеса, 2010, 232 с.
5. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навч. посіб. / Бойченко С.В., Черняк Л. М., Новикова В. Ф. К.: НАУ, 2012. 316 с.
6. Визначення впливу якості бензинів на забруднення атмосферного повітря / Галла-Бобик С.В. та ін. *Вісник УжНУ*. 2004. Випуск 12. С. 114–115.
7. Караулов А.К., Худолій Н.Н. Автомобильные топлива. К. 596 с.
8. Шпак О. І. Нафта і нафтопродукти. К.: Ясон, 2000. 379 с.
9. Директива 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 жовтня 1998 р. щодо якості бензину та дизельного палива та внесення змін до Директиви Ради 93/12/ЄС URL: <https://ips.ligazakon.net/document/EU980003> (дата звернення: 12.10.2022)
10. Директивою 2009/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 квітня 2009 р. про внесення змін до Директиви 98/70/ЄС. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU09267> (дата звернення: 12.10.2022)

11. Про затвердження Технічного регламенту щодо автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив: постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.10.2022)
12. Про затвердження Переліку видів продукції, щодо яких органи державного ринкового нагляду здійснюють державний ринковий нагляд: постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1069. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1069-2016-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.10.2022)
13. Про затвердження Положення про Державну екологічну інспекцію України: постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2017 № 275. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/275-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.10.2022)
14. Про державний ринковий нагляд і контроль нехарчової продукції: Закон України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2735-17#Text> (дата звернення: 12.10.2022)
15. Якість автомобільних бензинів та дизельного пального на ринку України / Сіблева О.В. Екологічні науки. Випуск № 4(43). 2022 С. 100-106 URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/16.pdf> (дата звернення: 12.10.2022)
16. Держекоінспекція: протягом 2021 року інспектори перевірили майже 1200 АЗС по всій Україні. Державна екологічна інспекція України: веб-сайт. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/2099> (дата звернення: 12.10.2022).
17. Про затвердження Інструкції з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики Міністерства палива та енергетики України від 04.06.2007 № 271/121. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0762-07#Text> (дата звернення: 12.10.2022)
18. Положення про технологічні регламенти на виробництво продукції на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості України : наказ Міністерства палива та енергетики України від 23.07.2007 № 345. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 12.10.2022)
19. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 12.10.2022)

O. Sibileva¹, Cand. Sc. (Vet), ORCID 0000-0001-5339-7214

I. Shkilniuk², Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-8808-3570

S. Dokshyna², Ph.D student, ORCID 0000-0001-8136-8779

¹State Environmental Inspectorate

²National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

STATE MARKET SUPERVISION OF THE QUALITY OF MOTOR FUELS, PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM

The quality of motor fuels during consumption is a guarantee of the reliability of the operation of vehicles, the efficiency of the operation of machines, mechanisms and other equipment. Considering the toxic, carcinogenic, fire, and explosive properties, motor fuels belong to extremely dangerous substances, non-food products with an increased degree of risk for all categories of consumers, regardless of the way and method of their use. In particular, waste gases of toxic substances during internal combustion pose a danger to the environment, human life and health.

Proper control over the quality of motor fuels, making strategic management decisions for their safe circulation is the main component for the further development of the oil industry in Ukraine, ensuring the needs and satisfaction of consumers, the demand for petroleum products at the international level, in particular, the development of free trade.

The article provides standards and requirements for the quality of motor fuels, reflects the results of examinations (tests) of automobile gasoline and diesel samples conducted in 2021. Possible causes of low-quality fuel are given and measures to overcome them are proposed. 196 samples of automobile gasoline and 111 samples of diesel fuel were selected for examinations (tests). According to the results of examinations (tests), non-compliance with the requirements of the Technical Regulation was found in 24.9% of automobile gasoline samples and in 19.8% of diesel fuel samples. One of the reasons for low-quality fuel is uncontrolled use of additives (dopes) by economic entities, improper internal control of fuel during mixing, including during storage, transportation and introduction of non-food products into circulation.

It is also noted that one of the prerequisites for the creation of high-quality fuel on the market of Ukraine is the need to carry out measures to harmonize the current legislative acts, introduce changes or develop new normative documents in the field of quality and control of petroleum products, update state standards, conduct scientific research, and implementation of the requirements of the European Union into the current acts of Ukraine. In particular, an important aspect is the development of a chain of monitoring and control at various

stages of the production cycle, processing (mixing), determining the expediency of using additives, dopes (dyes) to products, taking into account the physical and chemical properties of fuel, dynamic and mechanical indicators of vehicle engines.

Key words: *technical regulation, state market supervision, physico-chemical indicators, quality of motor fuels.*

References

1. On the approval of the Program of Activities of the Cabinet of Ministers of Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12.06.2020 № 471. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/471-2020-%D0%BF#Text> Accessed on: October 12, 2022.
2. On the approval of the Government's priority action plan for 2021: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 03.24.2021 № 276. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/276-2021-%D1%80#Text> Accessed on: October 12, 2022.
3. Motor fuels: properties and quality: textbook / Serhii Boychenko et al. Kyiv: "Center for Educational Literature", 2017. 324 p.
4. Natural gas, fuel and oil: a monograph / Andriyshyn M.P., Marchuk Y.S., Boychenko S.V., Ryabokon L.A.: Odesa, 2010, 232 p.
5. Quality control of fuel and lubricant materials: teaching. manual / Boichenko S.V., Chernyak L.M., Novikova V.F.K.: NAU, 2012. 316 p.
6. Determination of the effect of gasoline quality on atmospheric air pollution / Halla-Bobik S.V. etc. Bulletin of UzhNU. 2004. Issue 12. P. 114-115
7. Karaulov A.K., Khudolyi N.N. Automobile fuels. K. 596 p.
8. Shpak O. I. Oil and oil products. K.: Yason, 2000. 379 p.
9. Directive 98/70/EU of the European Parliament and of the Council of October 13, 1998 on the quality of gasoline and diesel fuel and amending Council Directive 93/12/EU. [Online]. Available: <https://ips.ligazakon.net/document/EU980003> Accessed on: October 12, 2022.
10. Directive 2009/30/EC of the European Parliament and the Council of April 23, 2009 amending Directive 98/70/EC. [Online]. Available: <https://ips.ligazakon.net/document/MU09267> Accessed on: October 12, 2022.
11. On the approval of the Technical Regulation on motor gasoline, diesel, marine and boiler fuels: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 1, 2013 No. 927. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#Text> Accessed on: October 12, 2022.
12. On approval of the List of types of products in respect of which state market surveillance bodies carry out state market surveillance: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12.28.2016 № 1069. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1069-2016-%D0%BF#Text> Accessed on: October 12, 2022.
13. On the approval of the Regulation on the State Environmental Inspection of Ukraine: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 04/19/2017 № 275. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/275-2017-%D0%BF#Text> Accessed on: October 12, 2022.
14. On state market supervision and control of non-food products: Law of Ukraine. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2735-17#Text> Accessed on: October 12, 2022.
15. Quality of automobile gasoline and diesel fuel on the market of Ukraine / Sibileva O.V. Environmental sciences. Issue № 4(43). 2022 pp. 100-106. [Online]. Available: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/4/16.pdf> Accessed on: October 12, 2022.
16. Derzhkeinspektsiia: protiahom 2021 roku inspektry perevirly maizhe 1200 AZS po vsii Ukraini. *Derzhavna ekolohichna inspektsiia Ukrainy*. [Online]. Available: <https://www.dei.gov.ua/posts/2099>. Accessed on: October 12, 2022.
17. On the approval of the Instructions for controlling the quality of oil and petroleum products at enterprises and organizations of Ukraine: Order of the State Committee of Ukraine on Technical Regulation and Consumer Policy of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine dated 04.06.2007 № 271/121. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0762-07#Text> Accessed on: October 12, 2022.
18. Regulations on technological regulations for the production of products at enterprises of the oil refining and petrochemical industry of Ukraine: order of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine dated 07.23.2007 № 345. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text Accessed on: October 12, 2022.
19. Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand. [Online]. Available: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text Accessed on: October 12, 2022.

Надійшла 2.02.2023

Received 2.02.2023

МОРСЬКЕ ПАЛИВО З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ СІРКИ, ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА В УКРАЇНІ

В статті розглянуто основні світові тенденції в галузі застосування палив для судноплавства. Обґрунтовано необхідність заміни флотських мазут марок Ф-5 та Ф-12, які сьогодні широко застосовуються торговельним флотом України, на нові, з низьким вмістом сірки палива, такі як marine gasoil (MGO) або low sulfur marine gasoil (LS-MGO). Охарактеризовано основні проблеми, які з урахуванням ролі перевезення вантажів морськими шляхами України можуть виникати при переході судноплавства на нові види палива. При цьому, запропоновано напрямки вирішення цих проблем без суттєвого впливу на вартість вантажоперевезень, які полягають в підборі сировини, попередній обробці сировини, застосуванням новітніх технологій та компаундуванні готової товарної продукції.

На практиці при виробництві морського палива з низьким вмістом сірки найбільш ефективним є поєднання декількох напрямків у єдиний технологічний ланцюг: «підбір сировини – новітні технології» або «підбір сировини – новітні технології – компаундування». Зважаючи на це, на сьогоднішній день, одним з найбільш перспективних технологічних процесів виробництва моторних палив, зокрема морських, в Україні можна вважати каталітичний піроліз на цеолітах вторинної полімерної сировини.

Ключові слова: морське паливо, сірка, судноплавство, екологічні вимоги, полімери, піроліз, каталізатор, нафтові дистилати, продукти газифікації вугілля

Вступ

Відомо, що основні тенденції у галузі застосування морських палив на сьогоднішній день склалися так, що відбувається стрімкий перехід від використання мазутів до малосірчистих морських палив, або альтернативних видів палива. Враховуючи, що Україна відноситься до числа морських держав, а за даними державної служби статистики у 2021 році 75% зовнішнього українського товарообігу припадало на морські порти, то повстає законне питання щодо перспектив переходу українського торгового флоту на нові види палива, наприклад marine gasoil (MGO) або low sulfur marine gasoil (LS-MGO). Судноплавство вважається одним із найбільших джерел викидів оксидів сірки (SO_x). Загальні викиди від судноплавства складають 5-8% від світових викидів. З метою скорочення цих викидів до навколишнього середовища з 1 січня 2020р. набули чинності нові правила Міжнародної морської організації (ММО). За цими правилами максимальний вміст сірки в судовому пливці зменшується до 0,5 %, за винятком зони контролю викидів сірки в Європі (SECA), де максимальний рівень становить 0,1 %. Приймаючи ці норми, судноплавство України стикається з певними проблемами щодо переведення своїх суден на нові види палива, для власного виробництва яких на теперішній час немає ані сировини, ані технологічних можливостей. Водночас з цим, закупівля таких палив (наприклад, EMF.5, ULSFO 0,10% S) за кордоном, враховуючи глобальну енергетичну кризу, яка зумовлює щорічне зростання цін на палива, призведе до значного зростання цін на транспортування товарів, що перевозяться морським шляхом.

Мета та завдання

В тій ситуації, що склалася в Україні, набуває актуальності розробка власних технологій виробництва палив, що відповідають усім вимогам сучасності та здатні замінити сорти палива, наприклад, мазути марки Ф-5 та Ф-12, які містять 1,0 % та 0,6 % сірки відповідно [1], та досить широко використовуються у судноплавстві України. При цьому, дуже важливим завданням є визначення сировини та технологічного процесу її переробки, що, у свою чергу, є основою для проектування раціональної технологічної схеми виробництва морського палива.

Матеріал та результати досліджень

Основні напрямки виробництва морського палива з низьким вмістом сірки, що є найбільш перспективними для України в сучасних умовах, можна представити у вигляді структурної блок-схеми, наведеної на рисунку 1.

Розглядаючи схему, яка наведена на рисунку 1, слід зазначити, що:

1. Підготовка сировини включає в себе її попередню обробку різними способами, наприклад хімічними реагентами, а також радіаційну, магнітну, кавітаційну обробки тощо.

2. Підбір сировини полягає в визначенні наявної сировини, переробка якої дозволить отримати морські палива, які відповідають вимогам нормативної документації. Даний напрямок передбачає створення та практичне впровадження певного алгоритму для підбору сировини.

3. Використання новітніх технологій передбачає застосування термічних (крекінг, піроліз) та термо-каталітичних (каталітичний крекінг та піроліз, гідроочищення та гідрокрекінг) процесів отримання з вуглеводневої сировини палива з низьким вмістом сірки.

4. *Компаундування палив* є фінальною стадією виробництва будь-якого палива та здійснюється шляхом додавання до палива з високим вмістом сірки палива/фракцій з більш низьким вмістом сірки. В якості таких палив/фракцій можуть виступати різні нафтові дистилати, товарні палива, деякі рідкі продукти газифікації кам'яного вугілля [2], а також продукти термічної деструкції полімерної сировини та спирти [3].

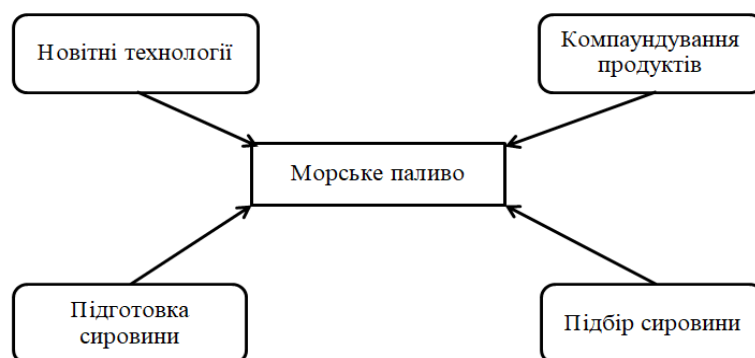


Рисунок 1 - Напрямки виробництва морського палива з низьким вмістом сірки

Кожен з означених вище напрямків виробництва морського палива має як позитивні моменти, так і свої специфічні недоліки. До цих недоліків можна віднести: проблема надмірних енергетичних затрат, утилізація відходів виробництва тощо.

Отже, при виробництві морського палива з низьким вмістом сірки найбільш ефективним, на нашу думку, є поєднання декількох напрямків у єдиний технологічний ланцюг (рисунок 2).

При використанні схем, наведених на рис. 2, виникає можливість створення гнучкого, енергоефективного технологічного процесу, який регулюється за вмістом сірки у кінцевому продукті на декількох ланках технологічного ланцюга.

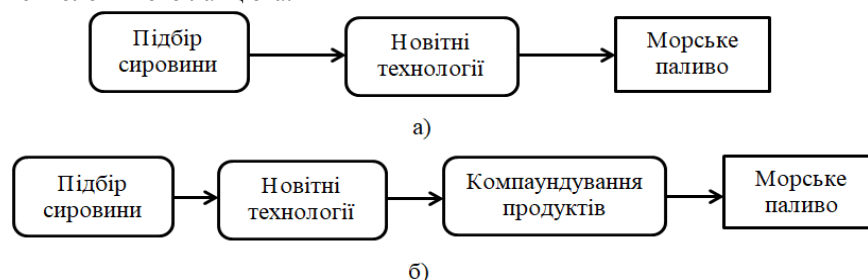


Рисунок 2 - Єдиний технологічний ланцюг виробництва морського палива:
а) схема I; б) схема II

Розглядаючи схеми, представлені на рисунок 2, зазначимо, що на етапі підбору вуглеводневої сировини основним критерієм виступає вміст сірки. При цьому найбільш перспективною вважається сировина з мінімальним вмістом сірки. До такої сировини можна віднести вуглеводневі фракції нафтового або кам'яновугільного походження, або рідкі продукти, що отримують при термічному крекінгу полімерної сировини. Причому, полімерна сировина у порівнянні з нафтовою або кам'яновугільною внаслідок своєї низької вартості та наявних значних запасів, є більш перспективною і може бути представлена вторинними полімерними матеріалами – поліолефінами: поліетиленами низького (HDPE) та великого (LDPE) тиску, та поліпропіленом (PP).

На сьогоднішній день для переробки полімерних матеріалів (відходів) існує ряд методів: термічні та термо-каталітичні [4]. Термічні є більш простими, потребують менших витрат на свою реалізацію. Але дозволяють отримати, головним чином, не товарні палива, а лише компоненти, які можуть бути використані при їх виробництві на стадії компаундування. Так, відомий метод переробки поліолефінової вторинної сировини в компоненти моторних та котельних палив. Цей метод базується на термічній ($t=380-420\text{ }^{\circ}\text{C}$) деструкції підготовленої (промитої, просушеної та подрібненої) полімерної сировини при атмосферному тиску ($P=0,1\div 0,13\text{ МПа}$) в реакторі періодичної дії [5].

В роботі [6] шляхом використання технології піролізу вторинної полімерної сировини в діапазоні $460-490\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 1 год. було отримано рідину, яку можна використовувати як вихідну сировину для нафтопереробного заводу.

Можливість отримання компонентів палив для використання в енергетиці шляхом піролізу вторинної полімерної сировини (відходів виробництва та споживання) було описано в роботі [7].

Також, термічне перетворення пластикових відходів чотирьох різних типів (поліетилен низької та високої щільності (LDPE та HDPE), поліпропілен (PP) та змішані пластики) в реакторі періодичної дії з нержавіючої сталі при температурах від 170 °С до 300 °С під атмосферним тиском було описано в роботі [8]. Пари, що утворилися в результаті деструкції пластику, конденсувалися з утворенням рідкого з низьким вмістом (до 4,5 ppm) сірки продукту, схожого на мазут.

Виходячи з наведеної вище інформації, виробництво морського палива з використанням термічних методів переробки полімерної сировини може бути реалізовано лише за схемою II, що наведено на рисунку 2, б.

Термо-каталітичні методи переробки полімерної сировини на відміну від термічних, потребують складного технологічного обладнання, використання каталізаторів, проведення їх регенерації та утилізації, а також реалізуються в умовах підвищеного тиску. Але їх використання дозволяє отримати, навіть без стадії компаундування (рисунком 2, а), більш якісні, хімічно стабільні продукти [9], які можна використовувати як товарне паливо.

Дослідження, проведені в роботі [10] показали, що для отримання рідкого палива з вторинної полімерної сировини в якості каталізатору піролізу можна використовувати цеоліти. Результати проведених досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Піроліз пластикових відходів з використанням каталізаторів на основі цеоліту

Тип полімеру	Тип каталізатору	Температура реакції, °С	Селективність	Каталізатор / полімер
Полістирол і поліолефіни (PS/PO)	Y-цеоліт	600	90 % за вмістом ароматики	1:1
Поліетилен і поліпропілен (PE/PP)	USY-цеоліт	500	80 % за рідкими продуктами	1:10
Полістирол (PS)	Природний/штучний цеоліт	450	54 % за рідкими продуктами	1:10
Поліетилен високої густини (HDPE)	Со-Y-цеоліт	600	68% від утворення водню	2:1
Суміш (HDPE /PP /PS /PET)	Регеновані й ZSM-5	440	97,4 % від вмісту ароматики	1:10
Суміш (PE /PP / PS / PET)	ZSM-5	550	50,7 % від вмісту C ₃ -C ₄	1:10

Відома робота [11], в якій описано переваги (зменшення споживання енергії та підвищення селективності процесу) переробки різної вторинної полімерної сировини шляхом нанокаталітичного піролізу з використанням в якості каталізатору цеолітів (HMCM-41, Al-MCM-41, ZSM-5). Результатом цієї переробки є рідкі продукти (межі википання 70-350 °С, температура спалаху 40-50 °С, кінематична в'язкість 1,63-2,27 мм²/с, температура застигання нижче ніж – 15 °С, теплота згоряння 40-46 МДж/кг) і газу, які мають високу теплоту згоряння (48-53 МДж/кг) і можуть застосовуватися як альтернативне джерело енергії.

Також, в роботі [12], для здійснення каталітичного піролізу полімерної сировини, запропоновано використовувати просушений (вміст вологи не більше 5 %) та подрібнений каталізатор Zeolite Socony Mobil-5 (ZSM-5) при співвідношенні пластик/каталізатор – 10:1. Показники якості продуктів, що отримані за цією технологією, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Властивості отриманих палив

Найменування показника	Марка палива	
	DF100	PF100
Температура спалаху, °С	57	73
Температура займання, °С	59	82
Кінематична в'язкість при 40 °С, мм ² /с	2,83	7,29
Густина при 40 °С, кг/м ³	812	821
Теплота згоряння, МДж/кг	44,81	41,11

Таким чином, з огляду на представлені вище дані, зазначимо, що на сьогоднішній день одним з найбільш перспективних технологічних процесів виробництва моторних палив, зокрема морських, в Україні можна вважати каталітичний піроліз на цеолітах вторинної полімерної сировини. Причому, для

отримання морських палив з певними межами википання (температурами початку та кінця кипіння) процес каталітичного піролізу має бути поєднаний з блоком фракціонування його продуктів. Для реалізації даного процесу найбільш доцільною з технологічної та економічної точки зору є схема I (рисунок 2, а).

Висновки.

Враховуючи світові тенденції щодо переходу судноплавства на нові види палива з низьким вмістом сірки, які продиктовані сучасними екологічними вимогами, запропоновано технологію виробництва морських палив (наприклад, MGO або LS-MGO) з вторинної полімерної сировини.

Дана технологія реалізується за рахунок наявних в Україні сировинних ресурсів (полімерних відходів) та застосування технології каталітичного піролізу на цеолітвмісних каталізаторах, а отримане таким чином паливо зможе замінити мазути марок Ф-5, Ф-12, що за вмістом сірки не відповідають сучасним світовим вимогам.

Позитивними моментами запропонованої нами технології, з економічної точки зору, є низька вартість сировини та її значні запаси на території України, енергоефективність процесу, застосування порівняно недорогих каталізаторів та якість кінцевого продукту – морського палива, що відповідає вимогам нормативної документації.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 4058-2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови». – К.: УкрНДІНП «МАСМА», 2015. – 10с.
2. Кизим М.О. Аналіз сировинного потенціалу виробництва моторного палива в Україні та її регіонах / М.О. Кизим, В.Є. Хаустова, В.В. Шпільевський, Д.М. Костенко // БІЗНЕСІНФОРМ. – 2022. - №7. – С. 59-81.
3. Energy recovery of waste plastics into diesel fuel with ethanol and ethoxy ethyl acetate additives on circular economy strategy / Sambandam Padmanabhan, K. Giridharan, Balasubramaniam Stalin, Subramanian Kumaran, V. Kavimani, N. Nagaprasad, LetaTesfaye Jule, Ramaswamy Krishnaraj // Scientific Reports. – 2022. - № 12. – 5330.
4. Корнієнко Б.В. Каталіз низькотемпературного піролізу полімерних відходів / Б.В. Корнієнко, А.П. Ранський, О.С. Худоярова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – №5. – С. 27-37.
5. Technology for producing components of technological and boiler fuels from polymer raw materials / K. Shevchenko, A. Grigorov, V. Ponomarenko, M. Nahliuk, O. Bondarenko, Y. Stetsiuk, V. Matukhno // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 3. - pp. 736-741.
6. Oil Production by Pyrolysis of Real Plastic Waste / Laura Fulgencio-Medrano, Sara García-Fernández, Asier Asueta, Alexander Lopez-Urionabarrenechea, Borja B. Perez-Martinez, José María Arandes // Polymers. - 2022. - 14(3). – 553.
7. Production of Fuel from Plastic Waste: A Feasible Business / Irene Fahim, Omar Mohsen, Dina El Kayaly // Polymers. – 2021. – 13(6). – 915.
8. Thermal conversion of waste plastics into fuel oil / A.S. Olufemi, S.A. Olagboye // International Journal of Petrochemical Science & Engineering. – 2017. – Volume 2. – Issue 8. – P. 252–257.
9. Fuel oil production from Municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors / Syamsiro M., Saptoadi H., Norsujianto T., Noviasri P., Cheng S., Alimuddin Z., Yoshikawa K. // Energy Proc. – 2014. - №47. – P. 180–188.
10. Recent Progress in Low-Cost Catalysts for Pyrolysis of Plastic Waste to Fuels / Ganjar Fadillah, Is Fatimah, Imam Sahroni, Muhammad Miqdam Musawwa, Teuku Meurah Indra Mahlia, Oki Muraza // Catalysts. – 2021. - № 11. - 837.
11. Non-biodegradable polymeric waste pyrolysis for energy recovery / Poushpi Dwivedi, P.K. Mishra, Manoj Kumar Mondal, Neha Srivastava // Heliyon. – 2019. – 5(8). – e02198.
12. Production of Biofuel Compounds from Waste Plastics by Using Catalytic Pyrolysis Process / Kumar, N.P.; Vinayaka, T.; Rajesh. S, Pavan, K. // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2018. – Volume 5. – Issue 5. – P. 4234-4237.

A.V. Chernyavsky¹, Ph. D. student

A.B. Grigorov¹, Dr. Tech. Science, Prof., ORCID 0000-0001-5370-7016

¹**National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"**

MARINE FUEL WITH LOW SULFUR CONTENT, PRODUCTION PROSPECTS IN UKRAINE

The article examines the main world trends in the field of fuel use for shipping. The need to replace the F-5 and F-12 fleet fuel oils, which are widely used by the merchant fleet of Ukraine today, with new, low-sulfur fuel, such as marine gasoil (MGO) or low sulfur marine gasoil (LS-MGO), is substantiated. The main problems that, taking into account the role of cargo transportation by sea in Ukraine, may arise during the transition of shipping to new types of

fuel are characterized. At the same time, directions for solving these problems without a significant impact on the cost of freight transportation are proposed, which consist in the selection of raw materials, preliminary processing of raw materials, the use of the latest technologies and compounding of finished goods.

In practice, in the production of marine fuel with low sulfur content, the most effective is the combination of several directions into a single technological chain: "selection of raw materials - the latest technologies" or "selection of raw materials - the latest technologies - compounding". Considering this, today, one of the most promising technological processes for the production of motor fuels, in particular marine fuels, in Ukraine can be considered catalytic pyrolysis on zeolites of secondary polymer raw materials.

Key words: marine fuel, sulfur, shipping, environmental requirements, polymers, pyrolysis, catalyst, petroleum distillates, coal gasification products

References

1. DSTU 4058-2001 «Palyvo naftove. Mazut. Tekhnichni umovy». – K.: UkrNDINP «MASMA», 2015. – 10s.
2. Kyzym M.O. Analiz syrovynnoho potentsialu vyrobnytstva motornoho palyva v ukrayini ta yiyi rehionakh / M.O. Kyzym, V.YE. Khaustova, V.V. Shpilyevs'kyi, D.M. Kostenko // BIZNESINFORM. – 2022. - №7. – S. 59-81.
3. Energy recovery of waste plastics into diesel fuel with ethanol and ethoxy ethyl acetate additives on circular economy strategy / Sambandam Padmanabhan, K. Giridharan, Balasubramaniam Stalin, Subramanian Kumaran, V. Kavimani, N. Nagaprasad, LetaTesfaye Jule, Ramaswamy Krishnaraj // Scientific Reports. – 2022. - № 12. – 5330.
4. Korniyenko B.V. Kataliz nyz'kotemperaturnoho pirolizu polimernykh vidkhodiv / B.V. Korinenko, A.P. Rans'kyi, O.S. Khudoyarova // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2021. – №5. – S. 27-37.
5. Technology for producing components of technological and boiler fuels from polymer raw materials / K. Shevchenko, A. Grigorov, V. Ponomarenko, M. Nahliuk, O. Bondarenko, Y. Stetsiuk, V. Matukhno // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 3. - pp. 736-741.
6. Oil Production by Pyrolysis of Real Plastic Waste /Laura Fulgencio-Medrano, Sara García-Fernández, Asier Asueta, Alexander Lopez-Urionabarrenechea, Borja B. Perez-Martinez, José María Arandes // Polymers. - 2022. - 14(3). – 553.
7. Production of Fuel from Plastic Waste: A Feasible Business /Irene Fahim, Omar Mohsen, Dina El Kayaly // Polymers. – 2021. – 13(6). – 915.
8. Thermal conversion of waste plastics into fuel oil / A.S. Olufemi, S.A. Olagboye // International Journal of Petrochemical Science & Engineering. – 2017. – Volume 2. – Issue 8. – P. 252–257.
9. Fuel oil production from Municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors / Syamsiro M., Saptoadi H., Norsujianto T., Noviasri P., Cheng S., Alimuddin Z., Yoshikawa K. // Energy Proc. – 2014. - №47. – P. 180–188.
10. Recent Progress in Low-Cost Catalysts for Pyrolysis of Plastic Waste to Fuels / Ganjar Fadillah, Is Fatimah, Imam Sahroni, Muhammad Miqdam Musawwa, Teuku Meurah Indra Mahlia, Oki Muraza // Catalysts. – 2021. - № 11. - 837.
11. Non-biodegradable polymeric waste pyrolysis for energy recovery / Poushpi Dwivedi, P.K. Mishra, Manoj Kumar Mondal, Neha Srivastava // Heliyon. – 2019. – 5(8). – e02198 .
12. Production of Biofuel Compounds from Waste Plastics by Using Catalytic Pyrolysis Process / Kumar, N.P.; Vinayaka, T.; Rajesh. S, Pavan, K. // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2018. – Volume 5. – Issue 5. – P. 4234-4237.

Надійшла 11.11.2022

Received 11.11.2022