

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА**



**XL
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ
ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ**



**Збірник тез конференції
11 травня 2022 р.**

Київ – 2022

УДК 621.3 + 004 + 519.6 : 620.9

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України
(протокол №3 від 05 травня 2022 р.)

Організаційний комітет:

В.В. Мохор, В.О. Артемчук, С.Ф. Гончар, А.В. Яцишин та ін.

Програмний комітет:

В.В. Мохор, В.О. Артемчук, С.Ф. Гончар, О.О. Попов та ін.

Відповідальний за випуск:

В.О. Артемчук

Abstracts of the XL Scientific and technical conference of young scientists and specialists of G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, May 11, 2022 / PIMEE of NAS of Ukraine. - 2022. - 124 p.

Зб. тез XL Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 11 травня 2022 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2022. – 124 с.

© Автори публікацій, 2022

© Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова
НАН України, 2022

ЗМІСТ

S.S. Shevchenko GENERAL APPROACH TO MODELING NON-CONTACT SEALS OF CENTRIFUGAL MACHINES	6
A.A. Vladimirsky, I.A. Vladimirsky, I.P. Krivoruchko TEST BENCH INTRINSICALLY SAFE CIRCUITS	11
A.A. Vladimirsky, I.A. Vladimirsky, I.P. Krivoruchko, G.V. Anfimova REGISTRATION OF ASSOCIATED EVENTS IN THE MOVEMENT METER	13
I.V. Kotsiuba, M.M. Chaikin PROBLEMS OF ENSURING CYBERSECURITY OF EPES FACILITIES IN WAR CONDITIONS.....	15
R.V. Shytiuk OPTIMIZATION OF ASSETS MAINTENANCE IN ENERGY SECTOR.....	18
В.В. Шкарупило, В.В. Душеба МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ ФОРМАЛІЗОВАНИХ ПОДАЊЬ	20
I.В. Блінов, С.О. Зайцев ПИТАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВАРІЙНИХ СТАНІВ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ	23
Д.О. Олефір, I.В. Блінов АСПЕКТИ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ГЕС ТА ГАЕС НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ.....	26
Д.А. Левкін, А.В. Левкін МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИРШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІКИ.....	30
А.Д. Пінчук, Р.С. Одарченко СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОВЕДЕННЯ КІБЕРВІЙН.....	31
Б.Н. Плєскач, В.Д. Самойлов ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ.....	33
А.В. Давидюк КІБЕРЗАХИСТ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ	37
С.В. Дубровський МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	39
С.Ф. Гончар, О.О. Бакалинський МЕТОДИКА АГРЕГУВАННЯ РИЗИКІВ У ВИПАДКУ МНОЖИНИ СУМІСНИХ ВИПАДКОВИХ ПОДІЙ.....	40
Є.С. Чернозьомов ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ В ОПТИЧНІЙ СИСТЕМІ СОНЯЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА.....	42

В.С. Подгуренко, В.Є. Терехов

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІАМЕТРУ ТА ВИСОТИ ОСІ ВІТРОКОЛЕСА НА ПРИРІСТ РІЧНОГО ВИРОБІТКУ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ..... 45

С.М. Дяченко

ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СОНОТРОДІВ, ЯК РЕЗОНАТОРА КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ..... 48

С.С. Лоскутов

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ БАГАТОФАКТОРНОГО КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ 52

О.С. Потенко

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ DDOS-АТАК ТА МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД НИХ..... 55

А.М. Давиденко, С.Я. Гільгурт, О.С. Потенко, О.Г. Кіслов

ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ..... 57

В.В. Горський

ТРИЕТАПНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ..... 59

О.О. Бакалинський, Д.В. Пахольченко

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИСТУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ..... 62

Я.П. Лукашевич, В.А. Євдокімов

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ БАЗИ ДАНИХ ОБ'ЄКТІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ РОЗВИТКУ ТА МЕХАНІЗМІВ ПІДТРИМКИ ГАЛУЗІ 65

В.А. Євдокімов, А.В. Полухін

ВАЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПОПИТУ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД» В ПРОЦЕСІ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНОВОЇ ПОЗИЦІЇ НА ПРОДАЖ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 69

В.В. Мохор, О.В. Цуркан, Р.П. Герасимов, В.П. Яшенков, Т.М. Клименко

ВІДНОШЕННЯ МІЖ ЕКТОРАМИ ВПЛИВУ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ НА БЕЗПЕКУ СОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ..... 72

Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева, В.О. Артемчук,**О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач**

МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНОЇ ДИСПЕРСІЇ ТА ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНИХ НАСЛІДКІВ ПОДІЙ З РОЗЛИВОМ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ 73

Д.О. Дімітрієва, В.В. Шкарупило

ОГЛЯД НЕФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ..... 78

А.О. Лепатьєв

ПОБУДОВА МНЕМΟΣХЕМИ ПРИ АВТОМАТИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ СТРУКТУРНИХ ДАНИХ МОДЕЛІ РЕЖИМУ 80

В.В. Станиціна

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НАСЕЛЕННЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ПОМІСЯЧНО ... 83

І.С. Зінов'єва, Н.В. Ситник РОБОТА З ЦИФРОВИМИ МОДЕЛЯМИ РЕЛЬЄФУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТАРІЮ SAGA GIS	86
О.О. Попов, В.О. Артемчук, В.В. Коваленко, О.М. Коваленко, Є.Б. Краснов, І.Д. Мартинюк, А.П. Сулима АНАЛІЗ МЕТОДИК ОЦІНЮВАННЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ	88
О.О. Попов, А.В. Яцишин, С.І. Скуратівський, В.О. Ковач, Є.В. Пилипчук, Є.Б. Краснов, О.М. Коваленко ПРО ПРОБЛЕМИ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ВИРІШЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БПЛА В ЗАДАЧАХ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ	92
Є.В. Пилипчук, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, В.О. Куценко ЕФЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НЕЙТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
О.О. Попов, Анна В. Яцишин, А.В. Яцишин, В.О. Ковач, О.В. Фаррахов, А.М. Лагойко, Т.О. Шевченко СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ	99
А.О. Запорожець ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	107
В.О. Артемчук, О.В. Луньова, О.О. Попов, А.В. Яцишин, І.П.Каменева, Ю.О. Кириленко ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	110
А.О. Запорожець, А.Д. Свердлов, В.О. Артемчук, В.О. Ковач, В.О. Куценко ВИМІРЮВАЛЬНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА БАЗІ LOW-COST СЕНСОРІВ	112
В.О. Артемчук, О.А. Владимирський, В.А. Дюков АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ВИГОРОДКИ АКТИВНОЇ ЗОНИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ АЕС	113
В.В. Станиціна, О.Ю. Богославська, В.О. Артемчук ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	115
Д.В. Волошин, В.В. Цуркан ВАРІАНТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ РЕВЕРС-ІНЖИНІРИНГУ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	117
О.В. Згуровець, Т.Р. Білан ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАЗОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	118
Є.В. Болтов ПОРІВНЯННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТОЧНОСТІ ДЕТЕКТОРІВ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ	120

S.S. Shevchenko

GENERAL APPROACH TO MODELING NON-CONTACT SEALS OF CENTRIFUGAL MACHINES

Non-contact seals, in addition to the function of sealing, perform an equally important function - to improve the vibration state of the centrifugal machine rotor. Structural measures aimed at increasing the hydraulic resistance, as a rule, increase their hydrostatic stiffness and damping and thus improve their dynamic qualities. Another important indicator is the resource of the assembly, which is determined by the wear of the sealing surfaces. When designing sealing systems, it is necessary to harmonize their tightness and reliability, on the one hand, and resource indicators, on the other. For example, general plant, even power, pumps need an increased resource of sealing units. They need systems with guaranteed controlled leakage to provide lubrication and cooling, and therefore guarantee the required resource. For rocket and aviation technology, vibration reliability and tightness are in the foreground. The sealing resource, even for reusable ships, is not so important. Dynamic performance is especially important for high-speed rotor seals. Consider a general approach to constructing the dynamic characteristics of the centrifugal machine's rotors, taking into account the effect of seals.

For an analytical description of the processes occurring in the impulse seal, a model of the seal is proposed as a system for automatic control of the end gap and leakage (Fig. 1). Calculation of static and dynamic characteristics of impulse compaction based on his mathematical model is described in detail in [1].

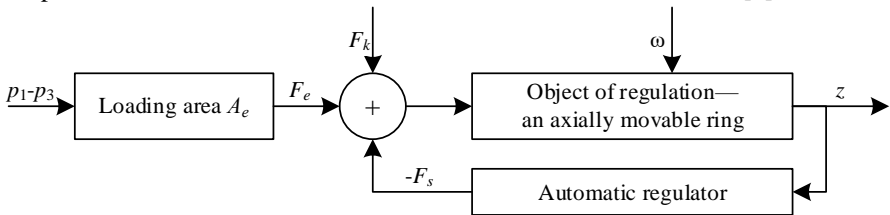


Fig. 1. The model of impulse seal as the automatic control system

Studies have shown that the operation of impulse seals is accompanied by complex non-stationary, high-frequency hydrodynamic processes determined by micron end gaps. In impulse seals, with increasing rotational speed, the end clearance slightly increases, as a result of which the increase in friction power is limited. The seals have practically no restrictions on the speed of rotation, so their use is especially effective for high-speed machines.

The model of the hydromechanical system "rotor - gap seals" is shown in fig. 2. Radial (x, y) and angular (ϑ_x, ϑ_y) oscillations of the rotor are largely determined by the hydrodynamic forces (F) and moments (M) arising in the sealing gaps, and

the forces and moments themselves depend on the nature of the rotor movement. Another feedback exists between the geometric shape of the gap (average radial gap H and taper ϑ_2) and the pressure in the gap $p(z, \varphi)$: deformations of the sealing rings are determined by the pressure distribution, and the latter is very sensitive to changes in the size and shape of the gap. Thus, when choosing the design of slotted seals, it is necessary to take into account not only their direct purpose - to reduce volume losses, but also their no less important function - to provide the necessary vibration characteristics of the rotor. A detailed study of the problems of the slotted seals hydrodynamics and their influence on the vibrational state of the centrifugal machines rotors was carried out in [2,3].

The analysis showed that the value of natural frequencies is most affected by the radial hydrostatic force and the total gyroscopic moment. The coefficients of radial and angular resistance depend on the sign of the taper angle, and in diffuser gaps they can take negative values, causing a loss of rotor stability. A significant destabilizing effect on the stability of the rotor movement is exerted by the circulation force and the circulation moment, which are proportional to the flow swirl coefficient. The cross coefficients of radial hydrodynamic forces and moments are relatively small and have little effect on the rotor dynamics.

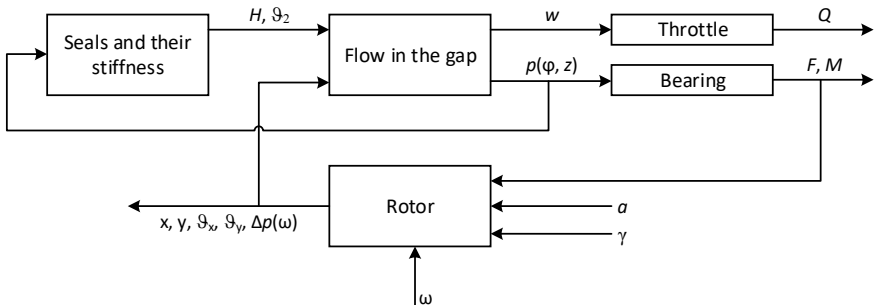


Fig. 2. Model of hydromechanical system rotor - groove seals

The force coefficients of gap seals are determined by geometric (clearance, radius, length, taper, shape of the leading edges) and operational (pressure drop, operating speed range, physical properties of the pumped medium) parameters. By purposeful choice of these parameters, it is possible to influence the vibrational state of the rotor. An important feature of centrifugal machines is that the pressure drops throttled on slotted seals are proportional to the rotor speed. This is due to the effect of self-tightening of the rotor, leading to the fact that in most cases there are no critical frequencies. Self-tightening is enhanced by the gyroscopic moments of slotted seals, and for rotors of disc design - by the gyroscopic moment of the disk.

The rotor of a centrifugal pump with an auto-unloading system has freedom of axial movement within the end gap of the hydraulic heel. In the simplest case, the rotor, as an absolutely rigid body, performs one-dimensional axial oscillations,

the characteristics of which are determined by the parameters of the balancing system. Since such a system with an additional cylindrical choke and taking into account the non-stationarity of the flow in the throttling channels is a fifth-order dynamic system, the axial oscillations of the rotor with the hydraulic heel are described by seventh-order differential equations [4]. Automatic balancing devices, despite the many designs, are built according to the general principle: negative feedback is created between the balancing force and the axial position of the rotor, providing only small deviations of the axial position of the rotor from some predetermined position (Fig. 3). During the operation of the pump, disturbances close to harmonic in the form of discharge pressure pulsations and axial force act on the rotor. The pulsation frequency is equal to or a multiple of the rotation frequency. Under the influence of these perturbations, the rotor performs forced oscillations, the amplitude of which depends on the remoteness of the rotation frequency from the natural frequencies of the "rotor - balancing device" system. In this regard, in order to tune out from possible resonant axial oscillations, it is necessary to know the natural frequencies of the system. And to estimate the amplitudes of forced oscillations in operating modes, it is necessary to build amplitude frequency characteristics.

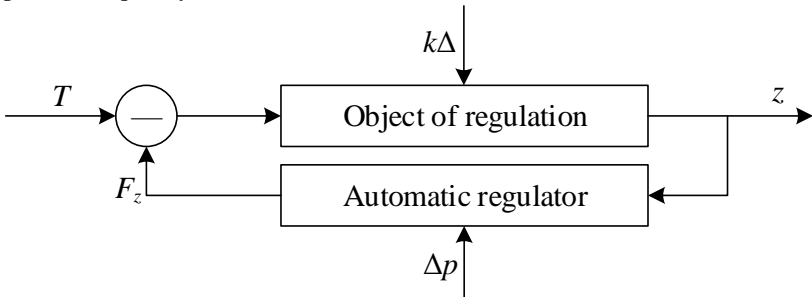


Fig. 3. Model of the balancing device

The inevitable axial vibrations of the rotor lead to the fact that the movement of fluid in the throttling channels of the automatic unloading systems is unsteady, pulsating. Due to inertia, the fluid resists a change in speed, resulting in additional reactive or inertial resistance. When operating centrifugal pumps with automatic balancing, increased axial vibrations of the rotor are sometimes observed, which can be explained either by resonances in the "rotor - autoloading" system, or by self-excited oscillations due to the loss of dynamic stability by the system. Axial vibrations of the rotor lead to the occurrence of significant stress pulsations in the unloading disk and in the shaft cross section, and can also cause increased transverse oscillations of the rotor.

The design diagram of a shaftless pump is shown in Fig. 4.

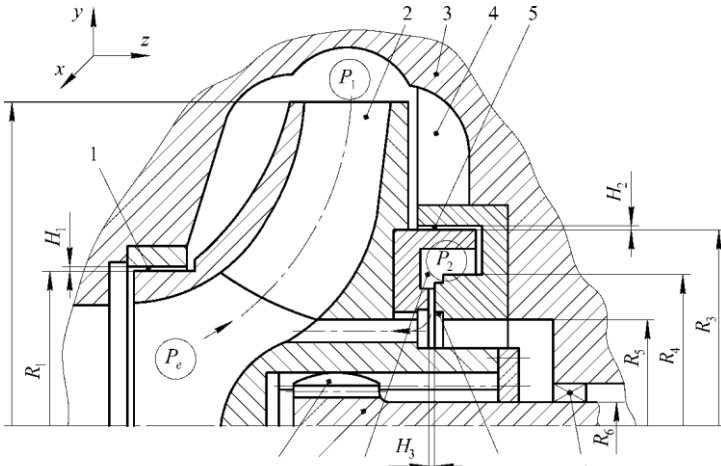


Fig. 4. Shaftless pump model

The impeller or rotor with a sealing assembly is a system of automatic control of a variable end clearance, which creates negative feedback. Therefore, for a detailed study of the hydrodynamics of a shaftless pump, the above models of slotted seals and an automatic balancing device were used together. The static and dynamic characteristics of a shaftless pump are considered in detail in the work of the author [5].

The wheel of a shaftless pump performs independent axial oscillations under the action of kinematic excitation in the form of given radial oscillations due to the static imbalance of the impeller. The relationship between radial and angular vibrations is due to hydrodynamic moments that occur in slotted seals. Radial and axial oscillations are connected by the dependence of the conductivities of the annular chokes on the eccentricity, i.e., from the radial displacement of the rotor axis relative to the housing axis.

Angular oscillations of the impeller freely floating in slotted seals can be considered as independent oscillations. The hydrodynamic moments in the gap seals and, above all, the gyroscopic moment of the impeller ensure the self-tightening of the rotor relative to its angular oscillations. The main destabilizing factor is the circulation hydrodynamic moment, which is proportional to the circumferential fluid velocity averaged over the gap thickness. Similar support-balancing devices can also be successfully used in multistage centrifugal pumps.

The conducted studies have shown that all sealing units with throttling gaps or sealing paths filled with a medium to be sealed under high pressure should be considered as dynamic systems. The medium to be sealed, acting on the walls of the sealing paths, affects the dynamic state of the rotor. The proposed general technique makes it possible to evaluate this effect depending on the design characteristics of the seals and, by changing them at the design stage, to rebuild the “rotor-seals” system from resonant operating modes.

Another general conclusion from the results of the carried-out studies is that the greater the hydraulic resistance we create in the sealing gaps (for example, due to convergency), the more energy is spent to overcome these channels by the sealed medium, the more the sealing units toughen the rotor in a dynamic sense, improving its vibration characteristics.

- [1] Shevchenko, S. S., & Chernov, A. (2020). Development of pulse mechanical seal calculation methods on the basis of its physical model construction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(2 (105)), 58–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206721>
- [2] Shevchenko, S. S. (2021). Mathematical modeling of centrifugal machines rotors seals for the purpose of assessing their influence on dynamic characteristics. *Mathematical Modeling and Computing*, 8(3), 422–431. <https://doi.org/10.23939/mmc2021.03.422>
- [3] Shevchenko, S. S., Shevchenko, O. S., & Vynnychuk, S. (2021). Mathematical Modelling of Dynamic System Rotor-Groove Seals for the Purposes of Increasing the Vibration Reliability of NPP Pumps. *Nuclear and Radiation Safety*, 1(89), 80–87. [https://doi.org/10.32918/NRS.2021.1\(89\).09](https://doi.org/10.32918/NRS.2021.1(89).09)
- [4] Shevchenko, S. S., & Shevchenko, O. S. (2020). Determination of the Natural Frequencies of the Centrifugal Machine Rotor with a System of Automatic Balancing of Axial Forces. *Elektronnoe Modelirovanie*, 42(2), 41–58. <https://doi.org/10.15407/emodel.42.02.041>
- [5] Shevchenko, S. S., & Shevchenko, O. S. (2021). Mathematical Model and Calculation Method of a Shaftless Pump with Seals-Bearings. *Elektronnoe Modelirovanie*, 43(1), 03–16. <https://doi.org/10.15407/emodel.43.01.003>

TEST BENCH INTRINSICALLY SAFE CIRCUITS

The possibility of using electrical circuits exposed to explosive atmospheres in potentially explosive atmospheres is established by the requirements of EN 60079-11:2017 (EN 60079-11:2012, IDT; IEC 60079-11:2011, IDT). This standard defines the test procedure for spark and explosion safety of various equipment, the composition of explosive test mixtures of gases and construction of spark forming mechanism.

The test bench “Flash” (see Fig.1) includes an explosion chamber with a spark forming mechanism, electromagnetic valves for controlling gas flows, a vacuum pump, a vacuum sensor, and an electronic unit. All operating modes of the bench are controlled by a PC-compatible computer. State of main components of the bench is displayed in the form of mnemonic diagram and necessary digital parameters. The operator selects the operating mode and specifies the required parameters. Further tests are carried out automatically under the control of special software (Fig.2).



Fig 1. Test bench “Flash”

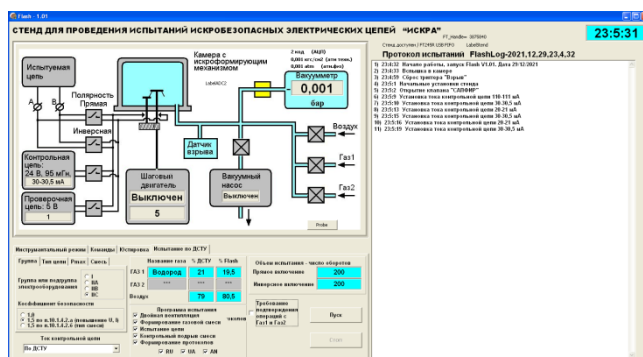


Fig.2. Flash Format v.1.03

Basic functionality and test stages:

- Chamber ventilation - evacuation of air from the chamber and its subsequent filling with atmospheric air.
- Automatic preparation of 2-component and 3-component mixtures in the proportions stipulated by the standard. Methane, propane, ethylene or hydrogen can be used as combustible gas in different modes. Oxygen is used in some mixtures. Most mixtures use atmospheric air. Formation of explosive mixtures is carried out according to the partial pressure of gases.
- Automatic testing of direct current circuits (400 revolutions of the sparking mechanism shaft, 200 revolutions of each polarity), alternating current (1000 revolutions), capacitive circuits (400 revolutions, 200 revolutions of each polarity).
- If an explosion is detected in the chamber, the test is automatically stopped.

- To check the sensitivity of the spark forming mechanism and the compliance of the gas mixture with the requirements there is a test explosion of the formed gas mixture in the chamber by means of the control circuit.

- Automatic registration of all the important events with the reference to the system clock in the text files - operation of valves, achieved levels of depression, starting of motors, rotation speed of the electrodes holder of the spark formation mechanism, registration of detonation and state of rotation counters at the moment of detonation etc.

- Automatic generation of protocols with parameters and test results of electrical circuits samples (pdf format).

- For debugging, for work in non-standard modes and for search of possible failures the possibility of manual control of all bench resources (control of motor, pump, valves, etc.) is used.

Conclusion.

Metrological certification of the bench “Flash” is completed, manual [1] and software [2] copyrights registered. Currently, the interest of potential foreign customers is being analyzed and preparations are being made for replication of the bench “Flash”.

- [1] Владимирский А.А., Криворучко И.П. Научный труд “Аппаратно-программный комплекс для проведения испытаний искробезопасных электрических цепей (АПК “ИСКРА”). Руководство по эксплуатации. ИСКРА-1.00.04 РЭ”. Заява С202200669 про реєстрацію авторського права на службовий твір від 28.01.2022р. Заявник - ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.
- [2] О.А. Владимирский, И.П. Криворучко. Компьютерная программа “Стенд для проведения испытаний искробезопасных электрических цепей "Искра" (Flash v1.03). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір №112611 від 07.04.2022р. ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.

REGISTRATION OF ASSOCIATED EVENTS IN THE MOVEMENT METER

Application developed in G.E. Pukhov Institute for Modelling Problem in Energy Engineering of NAS of Ukraine measuring the kinematic and dynamic parameters of elevators IKPL-M3 (hereinafter referred to as meters) [1, 2] allows you to fully control the compliance of the movement parameters of the objects under study (elevators, escalators, overhead roads, etc.) with the requirements of modern regulatory documents in the field of security, in particular [3 , 4]. In connection with the expansion of the scope of application of meters, it became necessary, in addition to the motion parameters (path, speed and acceleration of linear or rotational motion), to carry out synchronous registration of accompanying events. As such events, the actuation of any contact sensors (door limit switches, cabin position sensors along the elevator shaft, etc.) is implied. Moreover, these contact sensors in most cases are an integral part of the elevator control circuit, they can be included in the so-called “ elevator safety circuit ”. Turning on the elevator with a broken “ safety chain ” is prohibited by the rules of Safety. The voltage value switched by contact sensors of various elevators, can be in the range from 5 V to 380 V DC or AC, which creates additional difficulties with connecting measuring equipment to such contact sensors.

Modernization of meters is carried out by completing them module KM-3 and installation of new software Lift-3.05-km3 . Additional functionality is as follows:

- the possibility of registering the operation of contact sensors synchronously with the registration of motion parameters,
- to restore the “safety circuit” of the object under study, the contact sensor is replaced by the contacts of a replacement relay.

Block KM-3 is included in the break in the cable between the measuring - transducer and the laptop and maintains the usual rate of data transfer about the motion parameters of the object under study from the measuring transducer to the laptop.

The contact sensor is disconnected from the electrical safety circuit and connected to the KM-3 block. Instead of the contact sensor, the contacts of the replacement electromagnetic relay of the KM-3 block are included in the electrical safety circuit, which is triggered when the contact sensor is closed. Thus, with the help of the contacts of the replacement relay, the electric safety circuit of the elevator is restored, from which the contact sensor was removed during the control measurements . The contact sensor remains part of the design of the object under study. This provides galvanic isolation of the meter from the safety circuit and compatibility with all possible variants of its power supply. The actuation (closing - opening) of the contact sensor is recorded for subsequent control by the KM-3 block , a corresponding marker of controlled events is built into the data stream between the IKPL-M3 measuring transducer and the laptop.

The advanced software Lift-3.05- km3 provides formats for the formation and analysis of records of motion parameters of the objects under study.

The KM-3 upgrade kit, designed to supplement the existing fleet of IKPL-M3 meters, allows you to significantly expand their functionality. It becomes possible to track the values of motion parameters at different points in time, explore the sequence of events and measure the time intervals between them.

- [1] Владимирский А.А. Разработка средств контроля параметров движения подъемно-транспортного оборудования. Подъемные сооружения. Специальная техника. –2013. № 2-с.21-24.
- [2] Владимирский О.А. Комп'ютерна програма “Измеритель кинематических и динамических параметров лифтов”, версия В3.05” (“Lift V3.05”). Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №60780. Україна. 23.07.2015р. /ПІМЕ НАН України.
- [3] ДСТУ EN 81-50:2015 Норми безпеки щодо конструкції та експлуатації ліфтів. Випробування та перевіряння. Частина 50. Норми проектування, розрахування, випробування та перевіряння компонентів ліфта (EN 81-50:2014, IDT) – [Чинний від 2018-01-01]. – Київ, 2016. – 22 с.
- [4] Правила будови і безпечної експлуатації ліфтів = Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов: НПАОП 0.00-1.02-08: Затв. 01.09.2008 № 190 / Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничного нагляду –Х.: Вид-во “Індустрія”. “Основа”. 2008. -192 с.

PROBLEMS OF ENSURING CYBERSECURITY OF EPES FACILITIES IN WAR CONDITIONS

The relevance of cybersecurity of energy sector facilities has been especially evident since the beginning of the open aggression of the Russian Federation against Ukraine starting from February 24, 2022.

According to a study by IBM and the Ponemon Institute, energy was ranked 3rd in 2020 and 5th in 2021 in terms of the cost of the consequences of data breaches, which also indicates the global vulnerability of this industry [1]. According to the EY Global Information Security Survey [2], the key reasons for this situation are:

- Cyber funding is falling short of requirements;
- Cybersecurity teams are viewed as opponents rather than partners;
- The adversary is stronger and more unpredictable.

From the beginning of the military aggression, the occupiers showed a special interest in the capture and destruction of energy facilities. On February 24, the Kakhovskaya hydroelectric power station was captured. On 25 February, Russian troops blew up a gas pipeline near Kharkiv, Ukraine's second-largest city. Russia claims to have control over Chernobyl nuclear power plant, reviving memories of the tragic accident in 1986 whose after-effects can still be felt, only 100km away from Kyiv. On 2 March, Russia claimed to have taken control of the area surrounding the 5.7GW nuclear power plant in Zaporizhzhia, Europe's largest. A fire broke out at the power plant a day after, despite crowds of unarmed Ukrainian citizens lining up to protect the installation.

In addition, regional substations, and control rooms of the national operator of the energy system of Ukraine - Ukrenergo - in the southeast of the country, and part of thermal power plants and regional energy companies of DTEK were seized. After capturing such important facilities, Russian troops gained access to the interfaces of the unified energy information system of Ukraine, which is used for operational management and dispatching of the unified electric power complex of Ukraine.

Thus, the objects of all four of the strongest energy companies in Ukraine were under the control of the occupier:

- Ukrenergo is the operator of transmission and dispatching of the united energy system of Ukraine;
- Energoatom is the operator of the nuclear power complex of Ukraine;
- Ukrhydroenergo is the operator of the hydropower complex of Ukraine;
- DTEK is the largest private energy generating company in Ukraine.

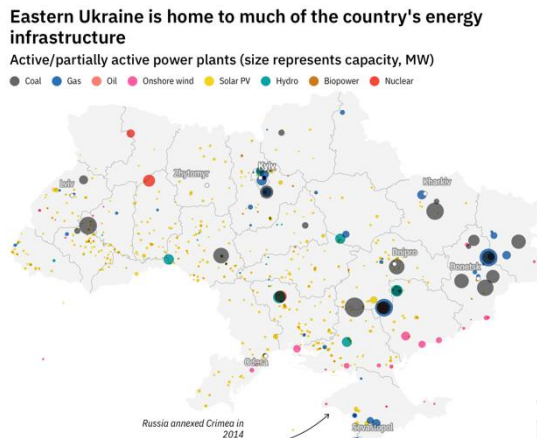
It is worth noting that the requirements for cyber security for critical infrastructure objects are described in the following legal documents:

- Law of Ukraine On the Basic Principles of Cybersecurity in Ukraine [3];

- Law of Ukraine On information protection in information and communication systems [4];
- Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine On Approval of General Requirements for Cyber Protection of Critical Infrastructure Objects [5].

According to Article 8 of Law of Ukraine On information protection in information and communication systems, for systems that are subject to protection and do not process information classified as restricted, and such systems include process control systems, it is necessary to build and certify information security management system, according to the state standard of technical conditions of Ukraine ISO 27001:2013. Two other documents describe the requirements for critical infrastructure objects, the list of which should be compiled by the Cabinet of Ministers of Ukraine, but such a list has not yet been created and, therefore, the requirements are advisory in nature. At the moment, the only company that has built and certified its information security management system in accordance with the requirements of the law is Ukrenergo (according to information from official sites) [6].

In January 2018, the US Senate published a report [7], which noted that since 2014, Russia has been tirelessly and diversely using the cyberspace of Ukraine as a cyber theater of art and a testing ground for cyber weapons. Considering the geography of hostilities and the geography of location of the main energy facilities of Ukraine [8] shown in Picture 1, the risk of unauthorized access to internal information systems and energy resources is growing.



Picture 1. Active/partially active power plants (size represents capacity)

It is worth noting that, in general, the requirements for cybersecurity in the energy industry are most often outdated in the era of smart grid infrastructure and data transmission through global information networks such as the Internet. As Conklin and Kohnke wrote, much of cybersecurity has been built around the

concept of ‘walling off’ computer systems to outside intruders and protecting data rather than focusing on the resilience of the system as a whole. Their argument was to focus more on functionality rather than on individual attacks, a focus that already exists in the energy sector but indicates a mismatch between energy security and the vulnerabilities present in infrastructure from cyber-related systems.[9] Energy security from cyberattacks, therefore, relies on a broader concept of resilience, one tied not only to actual production and transmission of energy but to those systems that energy supports and legitimates. If energy is removed from a society, particularly a highly industrialized and technology-dependent one, then the proverbial rug is being pulled out from under all support systems.

Thus, studies have shown that, in the context of the war in Ukraine, the key problems for cybersecurity are a combination of global and local trends - underfunding, increased sophistication of attacks, imperfect and non-mandatory legislation with gaps, seizure of energy infrastructure elements by occupiers, insufficient understanding of the importance of cybersecurity.

- [1] Cost of a Data Breach Report 2021, Ponemon Institute and IBM Security, p 15, <https://www.ibm.com/downloads/cas/OJDVQGRY> (link is external).
- [2] Alex Campbell, EY EMEA Cybersecurity, Associate Partner (2021) How power and utility CISOs can adapt to enable a digital future, https://www.ey.com/en_gl/power-utilities/how-power-and-utility-cisos-can-adapt-to-enable-a-digital-future (link is external).
- [3] Law of Ukraine On the Basic Principles of Cybersecurity in Ukraine, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19?lang=en#Text> (link is external).
- [4] Law of Ukraine On information protection in information and communication systems, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80/94-bp?lang=en#Text> (link is external).
- [5] Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine On Approval of General Requirements for Cyber Protection of Critical Infrastructure Objects, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/518-2019-rr?lang=en#Text>
- [6] Official website of Ukrenergo company, section "About us", https://ua.energy/about_us/ (link is external).
- [7] Putin’s Asymmetric Assault on Democracy in Russia and Europe: Implications for U.S. National Security. A Minority Staff Report Prepared for the Use of the Committee on Foreign Relations United States Senate, One Hundred Fifteenth Congress, Second Session, <https://www.hsdl.org/?view&did=806949>
- [8] Russia’s war on Ukraine spotlights critical energy infrastructure. EnergyMonitor. Anna Gumbau, MA degree in International Relations from the Universitat Autònoma de Barcelona, <https://www.energymonitor.ai/tech/networks-grids/russias-war-on-ukraine-spotlights-critical-energy-infrastructure>
- [9] William Arthur Conklin and Anne Kohnke, “Cyber Resilience: An Essential New Paradigm for Ensuring National Survival,” in Proceedings of the 13th International Conference on Cyber Warfare and Security ICCWS 2018, National Defence University, Washington D.C., USA, 8-9 March 2018, ed. Dr. John S. Hurley and Dr. Jim Q. Chen (Reading, UK: Academic Conferences and Publishing International Limited, 2018), p. 126.

R.V. Shytiuk

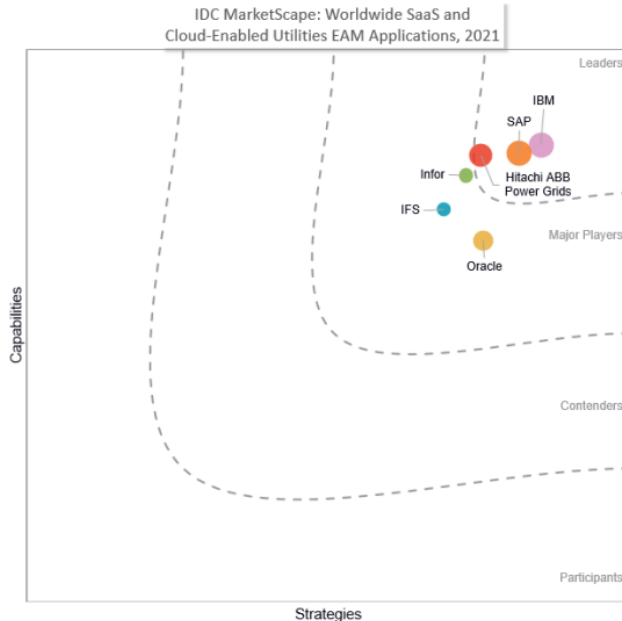
OPTIMIZATION OF ASSETS MAINTENANCE IN ENERGY SECTOR

Energy sector is one of the most asset-diverse area due to trends of waste reducing and transition to clean energy. Expanding number and complexity of assets due growth of renewable and distributed energy resources creates a necessity to transform asset management in energy sector [1].

In Ukraine challenge of effective management for huge variety of assets in energy especially actual with claimed goal of sourcing 25 % of total energy by mix of renewables by 2035 [2] and full-scale invasion of the Russian Federation against Ukraine starting from February 24, 2022.

Ukrenergo, main electricity transmission operator in Ukraine, announced the implementation of EAM (Enterprise asset management system) on the IBM Maximo platform [3].

Accordingly to IDC Worldwide SaaS and Cloud-Enabled Utilities EAM Applications 2021 Vendor Assessment [4], IBM was positioned as a leader (Picture 1) in this industry that have more than three decades of experience in energy sector.



Source: IDC, 2021

Picture 1. IDC MarketScape Worldwide SaaS and Cloud-Enabled Utilities EAM Applications Vendor Assessment

IBM Maximo has a long-standing history in the energy sector and is an integrated and configurable EAM application used to automate workflows, provide analytic tools, and manage content. IBM leverages embedded AI, using both supervised and unsupervised machine learning to uncover insights, and supplies low-code capabilities.

Maximo is module-composed application, every module contains applications or subapplications. Six of these key management modules are:

- Assets
- Work Service
- Contracts
- Materials
- Procurement Management

Standard Procurement Management module supports phases enterprise-wide procurement of assets or asset equipment, including direct purchasing or inventory refill. Also, it can be integrated with systems of external vendors such as Oracle and SAP.

However, integration of Maximo with systems of external supplies providers could be complicated by the following reasons:

- Huge variety of different supplies providers to integrate
- Usage of legacy or self-developed systems instead of SAP/Oracle

To resolve such issue, it is proposed to develop module which will perform search for potential suppliers in designated sites (such as Prozorro) by product / service name and made a list for sending invitation to participate in tender procedure. This is not a violation of modern tender law, as sending a tender invitation to a supplier is not a ground for giving it a competitive advantage [6].

- [1] Jim Thomson, Brian Murrell, Jian Wei, Kate Hardin. Digital utility asset management, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/digital-utility-asset-management.html>
- [2] International Trade Administration. Ukraine Renewable Energy Market, 04/26/2021, <https://www.trade.gov/market-intelligence/ukraine-renewable-energy-market>
- [3] Ukrenergo started implementation of asset management information system, <https://ua.energy/general-news/ukrenergo-started-implementation-of-asset-management-information-system/>
- [4] John Villali, Juliana Beauvais, Leif Eriksen. IDC MarketScape: Worldwide SaaS and Cloud-Enabled Utilities EAM Applications 2021 Vendor Assessment, https://idcdocserv.com/US47884520e_IBM
- [5] Deployment Guide Series: Maximo Asset Management, <https://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg247640.pdf>
- [6] Law of Ukraine About public procurement <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text>

МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ ФОРМАЛІЗОВАНИХ ПОДАНЬ

Актуальність зазначеної теми обґрунтовано з позиції доцільності проведення контролю показників і функціональних (ФХ), і нефункціональних характеристик (НФХ) розроблюваної програмно-алгоритмічної складової (ПАС) системи критичного призначення вже на етапі проектування процесу розроблення [10]. Процес розроблення при цьому подається послідовністю наступних етапів: аналіз вимог, проектування, реалізація, валідація. Заключний етап, у свою чергу, може бути здійснений як шляхом тестування, так і шляхом імітаційного моделювання.

Зазначена актуальність базується на концепції «багатовимірної верифікації», якою передбачається здійснення у процесі розроблення контролю показників як ФХ, так і НФХ [3]. Представлена праця базується на оперуванні поняттям «артефакт» у контексті його застосування на етапі проектування процесу розроблення – сутністю, що характеризується архітектурою (структурою та зв'язками) і змістом; поданий у формі окремого файлу файлової системи проміжний результат [1].

Для забезпечення спадковості одержуваних при проектуванні артефактів виокремлено наступні типи артефактів: первинні (ПА) – графічні подання ПАС (блок-схеми алгоритмів, UML-діаграми); вихідні (ВА) – формалізовані артефакти-подання, синтезовані на основі первинних артефактів – уможливають здійснення процедури формальної верифікації (ФВ) методом перевірки на моделі в автоматизованому режимі – уможливають перевірку ПАС з позиції несуперечності; результуючі артефакти (РА) – одержувані на основі вихідних артефактів, із збереженням архітектурної складової вихідних артефактів, – призначені для контролю НФХ-показників.

Демонстрацію відношень між виокремленими типами артефактів подано на рис. 1. На рис. 1 для подання зв'язків між блоками UML-діаграми залучено відношення «Extends» (розширює).

На першому кроці ВА розширює ПА – за рахунок формалізації ПАС. При цьому у коментарях зазначаються як програмно-алгоритмічна мова PlusCal [5], так і формалізм TLA+ (Temporal Logic of Actions) [4]. У контексті ВА мова PlusCal є засобом формалізації архітектурної складової ПА, на основі якої синтезується розширене подання TLA+. При тому, що PlusCal-артефакт подібний до псевдокоду, одержуваний на його основі похідний артефакт TLA+ вже є доповненим з позиції змісту, зокрема за рахунок формалізації подій, передумов виникнення подій. У свою чергу, ВА, поданий засобами TLA+, безпосередньо уможливає здійснення контролю несуперечності ПАС – шляхом автоматизованої ФВ методом перевірки на моделі. Отже, представниками типу ВА є два подання – засобами PlusCal і TLA+, де перше є базовим, а друге – похідним від нього.

На наступному кроці – після підтвердження несуперечності ПАС на основі ВА – вже ВА позиціонується у якості первинного по відношенню до РА: відбувається розширення PlusCal-подання за рахунок залучення виразних засобів DEVS (Discrete Event System Specification), що уможливило подання НФХ-складової [8].

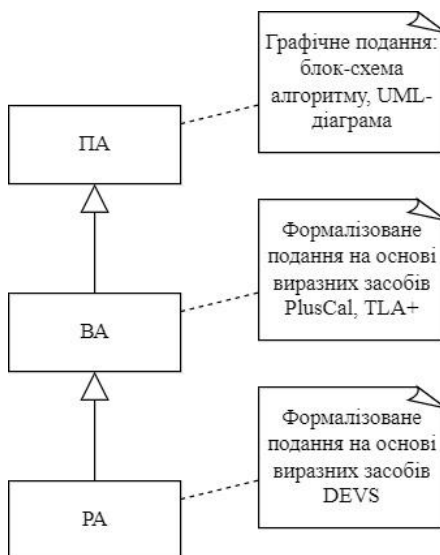


Рис. 1. Подання спадковості між зазначеними типами артефактів

На рис. 1 тип РА охоплює два центральних поняття формалізму DEVS – поняття атомарної (АМ) і складеної (СМ) DEVS-моделей [2]. Названі поняття у межах представленого підходу пропонується застосовувати у відповідності до положень теорії ієрархічних багаторівневих систем [6]: математичною основою для елементів базового ієрархічного рівня (страти) слугує АМ, а для елементів вищих страт – СМ, що будуються шляхом встановлення зв'язків між елементами нижньої, по відношенню до даної, страти.

Покажемо у даному контексті є синтетичний приклад розподіленого обчислення значення π через три арктангенси – на основі атомарних веб-сервісів (далі – сервісів) у складі композитного сервісу. Для цього було залучено чотири атомарних сервіси, взаємодію між якими організовано згідно моделі оркестрування: три атомарні сервіси призначені для розрахунку значень арктангенси, один – для агрегування результату [7].

Для подання композитного сервісу засобами DEVS було виокремлено два ієрархічних рівні. На нижній страті створено 6 АМ-елементів: 4 – для атомарних сервісів; 1 – генератор заявок на обслуговування; 1 – засіб координування сервісів згідно моделі оркестрування. Верхню страту представлено єдиним СМ-елементом, де було встановлено зв'язки між елементами нижнього ієрархічного рівня. Адекватність результуючого СМ-

артефакту було підтверджено [9]. Отже, загалом було створено 7 артефактів типу РА.

Таким чином, центральна ідея в основі запропонованого модельно-орієнтованого підходу – забезпечення контролю показників і ФХ, і НФХ вже на етапі проектування процесу розроблення. Це досягається за рахунок розроблення засобів забезпечення спадковості між виокремленими типами артефактів. У якості контрольованого показника ФХ розглядається несуперечність ПАС, а у якості відповідного показника НФХ – часові витрати на реалізацію ПАС. Контроль несуперечності ПАС здійснюється методом перевірки на моделі, а контроль супутніх часових витрат – методом дискретно-подійного імітаційного моделювання.

- [1] Broy M. A logical approach to systems engineering artifacts and traceability: from requirements to functional and architectural views. Engineering dependable software systems: NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security / Eds. M. Broy, D. Peled, G. Kalus // IOS Press, 2013, Vol. 34, pp. 1-48. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-207-3-1>
- [2] Concepcion A.I., Zeigler B.P. DEVS formalism: a framework for hierarchical model development. IEEE Transactions on Software Engineering. 1988. Vol. 14, No. 2. P. 228–241. DOI: <https://doi.org/10.1109/32.4640>
- [3] Jenihhin M., Lai X., Ghasempouri T., Raik J. Towards multidimensional verification: where functional meets non-functional. NORCHIP and International Symposium of System-on-Chip (SoC) : 2018 IEEE Nordic Circuits and Systems Conference (Tallinn, Estonia, 30-31 Oct. 2018). P. 1-7. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1908/1908.00314.pdf>
- [4] Lamport L. Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers. Boston : Addison-Wesley, 2002. 382 p.
- [5] Lamport L. The PlusCal algorithm language. Theoretical Aspects of Computing : 6th Int. Colloquium, part of LNCS, (Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2009). 2009. Vol. 5684. P. 36-60.
- [6] Mesarovic M.D., Macko D., Takahara Y. Theory of hierarchical, multilevel, systems. New York : Academic Press, 1970. 294 p.
- [7] Shkarupylo V. A Technique of DEVS-Driven Validation. In Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science : proc. XIIIth Int. Conf., TCSET'2016 (Lviv-Slavske, Ukraine, February 23-26, 2016). P. 495-497. doi: 10.1109/TCSET.2016.7452097
- [8] Van Tendeloo Y., Vangheluwe H. An evaluation of DEVS simulation tools, SIMULATION. 2017. Vol. 93, No. 2. P. 103-121. DOI: <https://doi.org/10.1177/0037549716678330>
- [9] Шкарупило В.В., Кудерметов Р.К., Польська О.В. DEVS-орієнтована методика валідації композитних веб-сервісів. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2015. № 4. С. 79–86. DOI: 10.15588/1607-3274-2015-4-12
- [10] Шкарупило В.В., Душеба В.В., Скруський С.Ю., Білов І.В. Стратифікована модель подання нефункціональних характеристик системи критичного призначення при проектуванні. Електронне моделювання. 2022. (прийнято до друку).

ПИТАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВАРІЙНИХ СТАНІВ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Підвищення ефективності функціонування розподільних електричних мереж та подальшого розвитку й впровадження «розумних мереж» в Україні є важливою науково-практичною задачею, яка обумовлена тим, що значна кількість розподільних електричних мереж відпрацювали свій термін експлуатації, гостро стоїть необхідність забезпечення підвищення ефективності і гнучкості роботи електричної мережі, особливо за умови збільшення кількості розподілених виробників електричної енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1], а також забезпеченням підвищення рівня надійності електропостачання споживачів електричної енергії та ефективності роботи операторів систем розподілу [2, 3]. Такі показники зокрема залежать від безперебійності роботи електричних мереж, швидкості встановлення та усунення пошкоджень, що виникають в них. Тому для підвищення ефективної та надійної роботи розподілених електричних мереж стає актуальним розробка нових та удосконалення існуючих моделей побудови систем та засобів ідентифікації аварійних станів та їх впровадження в розподілені електричні мережі [4, 5] у відповідності до концепції «розумних мереж» (SmartGrid) [6-8].

Однією із складових успішного впровадження та організації електромереж нового покоління у відповідності за концепцією SmartGrid є забезпечення точної ідентифікації місць пошкоджень та діагностування аварійних режимів електричних мереж [9, 10]. Одним із шляхів забезпечення підвищення ефективності пошуку місця пошкодження та рівня моніторингу електричних мереж в цілому є встановлення індикаторів пошкоджень повітряних та кабельних ліній електропередачі – засобів, що дозволяють виконувати автоматичну індикацію пошкодженої ділянки лінії.

Засоби ідентифікації аварійних станів на ділянках як кабельних, так і повітряних електричних мереж знаходять все більше розповсюдження в електричних мережах європейських країн, оскільки це дозволяє підвищити рівень роботи мережі за рахунок оперативного виділення фрагментів електричних мереж (забезпечення їхнього функціонування в острівному режимі), на яких сталася аварія, що повністю забезпечує вимоги стандартів серії EN 50549-1, які регламентують вимоги до генеруючих установок, призначених для паралельного під'єднання до розподільних мереж, зокрема описують ситуації пов'язані з роботою мереж в нештатних ситуаціях. Такі пристрої використовуються для визначення міжфазних коротких замикань та однофазних замкнень на землю, виявлення стійких та нестійких пошкоджень, в залежності від типу нейтралі у розподільчих мережах напругою 6-10 кВ, 35 кВ та 110-150 кВ.

Застосування засобів ідентифікації аварійних станів, у цьому разі, дозволяє покращити показники надійності електропостачання внаслідок зменшення часу пошуку пошкодженої ділянки електричної мережі. Серед таких показників, варто виділити, такі показники надійності функціонування електричних мереж, як SAIDI та ENS, значення яких поліпшуються з використанням систем ідентифікації аварійних станів на ділянках електричних мереж. А з огляду на впровадження в Україні RAB-регулювання, як методу тарифоутворення, який дозволяє розвивати і модернізувати інфраструктуру, у операторів систем розподілення з'являються можливості та стимули до підвищення надійності електропостачання споживачів електричної енергії.

З огляду на прогресивні тенденції розвитку електричних мереж, для більш ефективного розв'язання задачі пошуку місця пошкодження ліній електропередавання з використанням індикаторів аварійних станів, необхідно є побудова автоматичної системи моніторингу стану електричних мереж та визначення місць пошкоджень, яка здійснюватиме дистанційний контроль стану ліній електропередавання та забезпечуватиме підтримку керування комутаційними апаратами електричної мережі, використовуючи при цьому наявні мережі інформаційного обміну за стандартами GSM або UMTS або із використанням засобів мережі StarLink для забезпечення зв'язку та інтеграції із існуючими SCADA-системами, які використовуються в електроенергетичних мережах. У цьому разі необхідним є наділення таких систем інтелектуальною складовою за рахунок побудови експертних систем визначення місць пошкоджень на основі аналізу отриманих контрольно-діагностичних параметрів моніторингу стану лінії електропередавання, а також формування на основі отриманої інформації керуючих дій з локалізації місць пошкоджень або зменшення навантаження для уникнення появи ушкоджень за рахунок використання реклоузерів або вимикачів з дистанційним керуванням.

Основною особливістю застосування індикаторів пошкоджень в Україні та визначення місць їх встановлення є відмінності режимів роботи нейтралей в розподільчих мережах 6-10 кВ та 35 кВ України від європейських електричних мереж, відмінності використовуваних типів підземних кабелів, значення рівнів напруги в кабельних лініях. Зокрема в Україні частіше виникатимуть ситуації, коли чутливість таких пристроїв не дозволяє зафіксувати факти пошкоджень на окремих ділянках ліній. Також важливою перепоною використання таких пристроїв в Україні є висока їх вартість внаслідок відсутності вітчизняних розробок.

Розподільча мережа за концепцією Smart Grid [11-13] спрямована на вирішення проблем сумісності та ефективності функціонування розподільчої системи, і складається із ряду інтелектуальних пристроїв та супутніх технологій. Причому необхідним є наділення таких систем інтелектуальною складовою за рахунок використання алгоритмів визначення місць пошкоджень на основі ідентифікації параметрів аварійних режимів, а також

формування на базі отриманої інформації керуючих дій вимикачам з дистанційним керуванням для локалізації місць пошкоджень в розподільних електричних мережах ОЕС України. Сучасний стан експлуатації електричних мереж в Україні обумовлює необхідність створення нових, а також удосконалення існуючих моделей побудови систем та засобів ідентифікації аварійних станів в розподільних електричних мережах, зокрема і кабельних лініях. Забезпечення інформаційної сумісності таких систем та засобів із існуючими системами у відповідності до концепції SmartGrid, а також моніторинг параметрів аварійних режимів, надасть змогу підвищити надійність постачання електроенергії споживачам та підвищити ефективність роботи операторів систем розподілу.

- [1] Блінов І.В. Проблеми функціонування та розвитку ринку електричної енергії України. Вісник НАН України. 2021. № 3. С. 20-28
- [2] Кириленко О.В., Денисюк С.П., Блінов І.В., и др. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы. Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко. К.: ИЭД НАН Украины, 2014. 408 с
- [3] Интеллектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під заг. Ред. Акад. НАН України Кириленко О.В.. К.: ІЕД НАН України, 2016. – 400 с.
- [4] Блінов І.В., Парус Е.В., Полищук Е.Ю., Журвалев І.В. Мониторинг воздушных линий электропередачи с использованием индикаторов повреждений. Электроэнергетические системы и сети. 2013. №4. с. 42-44.
- [5] Блінов І.В., Парус С.В., Поліщук О.Ю., Журавльов І.В. Моніторинг стану повітряних ліній електропередачі з використанням індикаторів пошкоджень. Енергетика та електрифікація. 2013. №9. с. 7-11.
- [6] Kyrylenko O., Zharkin A. and other. Power systems research and operation: Selected problems. Springer, 2021, P. 174.
- [7] Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.Є. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах. Технічна електродинаміка. 2012. № 3. С. 47 – 48.
- [8] Танкевич С.Є., Блінов І.В., Кириленко В.В. Україна та світ: нормативне забезпечення інтелектуальних електроенергетичних систем за концепцією Smart Grid. Стандартизація, сертифікація, якість. 2014. № 4 (89). С. 38 – 44.
- [9] Зайцев Є.О. Програмно-алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованих оптико-електронних вимірювачів систем контролю та діагностики механічних дефектів потужних генераторів. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2020. Вип. 55. С. 94–100. DOI: 10.15407/publishing2020.55.095.
- [10] Кромпляс Б.А., Левицький А.С., Зайцев Є.О. Система автоматизованого налаштування інтелектуалізованих щитових вимірювачів електричних параметрів енергогенеруючих об'єктів. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2021. Вип. 59. С. 64–67.
- [11] IEC/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap. 2017. 315 p.
- [12] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус С.В., Трач І.В. Оцінка ефективності використання систем накопичення електроенергії в електричних мережах. Технічна електродинаміка. 2021. № 4. С 44-54.
- [13] Блінов І.В., Зайцев Є.О., Шкарупило В.В. Використання рольових моделей для опису організації ринку електричної енергії згідно концепції SMART GRID. «Наукова молодь-2021»: Збірник матеріалів ІХ Всеукраїнська науково-практична конференція

АСПЕКТИ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ГЕС ТА ГАЕС НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

З 01 липня 2019 року в Україні розпочала функціонувати лібералізована нова модель ринку електричної енергії [1-3], зокрема і сегмент балансуючого ринку [4, 5], а з березня 2020 року – ринок допоміжних послуг [6, 7]. Важливим учасником нового ринку електричної енергії є ПрАТ «Укргідроенерго», оскільки має наявні мобільні резерви потужності, що дозволяють приймати активну участь не тільки на ринку двосторонніх договорів та «на добу наперед», але і на балансуючому ринку та ринку допоміжних послуг.

Під час планування роботи агрегатів ГЕС на різних сегментах ринку допоміжних послуг необхідно враховувати значну кількість вихідних даних: поточні позначки б'єфів водосховищ, обсяги санітарних попусків води, питомі витрати агрегатів, встановлені потужності та діапазони регулювання, тощо.

Планування роботи на ринку електричної енергії в цілому складається з декількох етапів. На першому етапі враховуються показники прогнозного балансу ОЕС України (помісячні обсяги виробництва електроенергії кожної ГЕС), водогосподарські обмеження, поточні позначки рівнів водосховищ ГЕС, питомі витрати гідроресурсів, тощо. На основі зазначених даних у місяці, що передує місяцю поставки здійснюється планування обсягів для продажу електроенергії на ринку двосторонніх договорів (як правило, ці обсяги включають обсяги води ГЕС, які працюють у цілодобовому режимі), а законтраковані обсяги включаються до добового графіку виробництва електроенергії кожної з ГЕС. На основі місячних обсягів скидів води та обсягів виробництва електроенергії формуються добові обсяги скидів води та обсяги виробництва електроенергії. Планові обсяги скидів води через турбіни ГЕС та добові обсяги виробництва електроенергії на ГЕС визначають обсяги електроенергії для торгівлі на ринку «на добу наперед» [8, 9] та внутрішньодобовому ринку, обсяги для торгівлі допоміжними послугами (резерви для регулювання частоти та потужності) на аукціонній платформі [10], і, як наслідок – формування добового графіку навантажень ГЕС та ГАЕС.

Проте, фактична робота ГЕС та ГАЕС на ринку електричної енергії може суттєво відрізнятись від планованої роботи внаслідок виробництва електроенергії на балансуючому ринку відповідно до команд диспетчера НЕК «Укренерго» та відпрацювання в автоматичному режимі команд центрального регулятора САРЧП ОЕС України. Спрощено роботу ПрАТ «Укргідроенерго» на ринку електроенергії зображено на рис.1.

За нормальних умов роботи ОЕС України фактичні добові обсяги виробництва електроенергії дорівнюють плановим і відповідно фактичні

добові скиди води дорівнюють плановим. В той же час можливе незначне розбалансування гідрорежимів водосховищ ГЕС внаслідок відпрацювання команд центрального регулятора САРЧП ОЕС України та виконання команд диспетчера «з операційної безпеки», коли фактичні добові обсяги скидів води по компанії дорівнюють плановим, а відбувається ненавмисний перерозподіл обсягів гідроресурсів між різними водосховищами ГЕС.

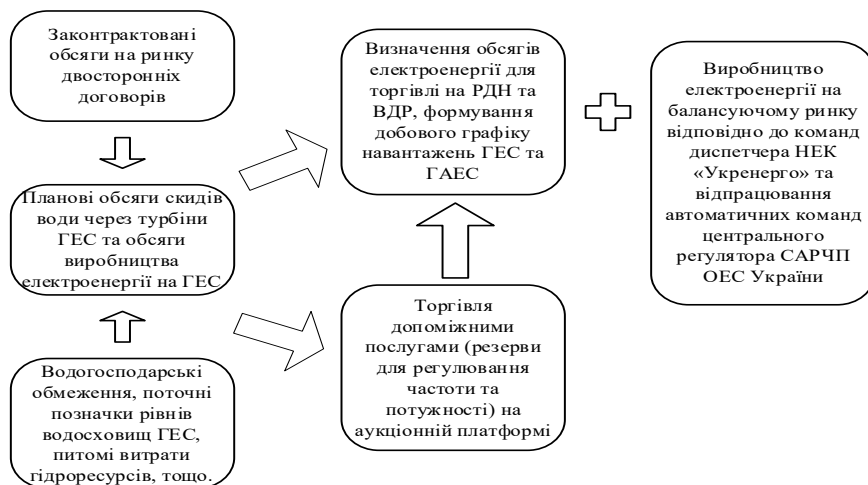


Рис.1. Спрощена схема роботи ПрАТ «Укргідроенерго» на ринку електроенергії.

У випадку виникнення аварійної ситуації в ОЕС України, пов'язаній з виникненням небалансу потужності (як в сторону дефіциту, так і в сторону профіциту) фактичні добові обсяги виробництва електроенергії суттєво відрізняються від планових, а відповідно фактичні добові скиди води суттєво відрізняються від планових. За таких умов відбувається значне розбалансування гідрорежимів водосховищ ГЕС, що може призводити до порушень водогосподарських обмежень (позначок рівнів б'єфів, обов'язкових скидів води, тощо).

До початку роботи лібералізованої моделі ринку електроенергії в Україні навесні ГЕС, як правило, працювали у базовому режимі з метою недопущення переповнення водосховищ та подальшого форсування скидів води та попередження «холостих» скидів води. Проте, у травні 2021 року спостерігалася вже інша ситуація. Під час проходженні паводку на річці Дніпро відбувалося поступове наповнення водосховищ. Значне зростання виробництва електроенергії електростанціями, що працюють на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ) [11, 12], навесні 2021 року спричинило необхідність розвантаження ГЕС до нуля по командах диспетчера НЕК «Укренерго». З метою запобігання пошкодження гідротехнічних споруд, гідромеханічного обладнання водозливної греблі,

зменшення форсування водосховищ та інших негативних наслідків до НЕК «Укренерго» було подано у квітні-травні 2021 року 47 аварійних заявок.

З метою виправлення ситуацій, пов'язаних із розбалансуванням гідрорежимів ГЕС, ПрАТ «Укргідроенерго» здійснюються такі заходи як: зменшення/збільшення кількості агрегатів, що залучаються до автоматичного та ручного вторинного регулювання згідно результатів аукціонів, або перерозподіл обсягів резервів між ГЕС; зміна обсягів продажу типу резерву в залежності від необхідності наповнення або спрацювання водосховища; сертифікація додаткових резервів потужності, а також початок реалізації проекту із запровадження гібридних систем з виробництва електроенергії загальним обсягом 250 МВт з використання систем накопичення електричної енергії [13]; диверсифікація продажів за рахунок інших сегментів ринку електроенергії.

Таким чином для подальшого врахування технологічних особливостей роботи ГЕС/ГАЕС на ринку електричної енергії необхідним є побудова імітаційних моделей, які дозволять підвищити ефективність планування роботи таких електростанцій. Зокрема доцільним є розробка та впровадження моделей оптимального розподілу виробничих потужностей каскаду ГЕС задля розв'язання задач планування та коригування балансу гідроресурсів у водосховищах вздовж русла ріки. При цьому умова коригування балансу гідроресурсів у водосховищах дозволяє визначити необхідний для реалізації такого балансу обсяг задіяних виробничих потужностей по кожній ГЕС. Розраховані обсяги виробничих потужностей можуть бути розподілені по сегментам ринку електричної енергії для максимізації вигоди, отримуваної від продажу електричної енергії та/або послуг регулювання режимів ОЕС України.

Разом із цим важливим напрямками робіт, що дозволять підвищити ефективність планування та роботи ГЕС/ГАЕС на ринку електричної енергії України є: покращення точності прогнозування гідроресурсів за рахунок побудови відповідних математичних моделей та своєчасного отримання прогнозів гідрометеоумов, а також фактичних позначок б'єфів водосховищ, аналізу роботи ОЕС України та ринку електроенергії, тощо; обмеження роботи ГЕС та ГАЕС у випадку порушення водогосподарських обмежень чи їх технологічних можливостей ГАЕС; запровадження аукціонів із придбання резервів заміщення; запровадження 100% відповідальності за балансування всіх учасників ринку електроенергії.

- [1] Про ринок електричної енергії: Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р.
- [2] Блінов І.В. Проблеми функціонування та розвитку ринку електричної енергії України. (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 3 лютого 2021 р.). Вісник НАН України. 2021. № 3. С. 20-28. doi: <https://doi.org/10.15407/vsn2021.03.020>
- [3] Іванов Г.А., Блінов І.В., Парус Є.В. Комплексна розрахункова модель ринку на добу наперед та балансуючого ринку електроенергії України. Промелектро. 2016. № 4-5. С. 8–12.

- [4] Блінов І.В., Парус Є.В, Іванов Г.А. Імітаційне моделювання функціонування балансуєчого ринку електроенергії з урахування системних обмежень на параметри ОЕС України // Технічна електродинаміка. 2017. № 6. С. 72 – 79.
- [5] Блінов І. В., Парус Є. В., Іванов Г. А. Дослідження організації конкурентної моделі ринку електроенергії України з урахуванням мережевих обмежень в ОЕС України. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2016. Вип. 45. С. 34-39.
- [6] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Оцінка роботи електростанцій при наданні допоміжних послуг з первинного та вторинного регулювання частоти в ОЕС України. Технічна електродинаміка. 2013. № 5. С. 55 – 60.
- [7] Кириленко О.В., Денисюк С.П., и др. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы. Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. 408 с.
- [8] Кириленко О. В., Блінов І. В., Парус Є. В. Визначення результатів аукціону з купівлі-продажу електричної енергії. Проблеми загальної енергетики. - 2010. - Вип. 3. - С. 5-12.
- [9] Блінов І.В., Парус Є.В., Шкарупило В.В. Структура та моделі інформаційної взаємодії учасників ринку електричної енергії// Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа». 2021. 114 с. DOI: <https://doi.org/10.36074/stmivuyree-monograph.2021>
- [10] Сценарії, методи та засоби формальної верифікації артефактів процесу проектування систем критичного призначення : монографія / В. В. Шкарупило, І. В. Блінов. — Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2021. — 104 с. ISBN 978-617-8037-55-0 DOI <https://doi.org/10.36074/smtzfvappskp-monograph.2021>
- [11] Іванов Г.А., Блінов І.В., Парус Є.В., Мірошник В.О. Складові моделі для аналізу впливу відновлюваних джерел енергії на ринкову вартість електроенергії в Україні// Технічна електродинаміка. 2020. № 4. с. 72-75
- [12] DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2020.04.072>
- [13] Блінов І.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлювальних джерел енергії. Праці Інституту електродинаміки НАН України 2019. Вип. 54: С. 5-12.
- [14] Парус Є.В., Блінов І.В., Олефір Д.О. Оцінка економічного ефекту від надання системами накопичення електричної енергії послуги балансування в ОЕС України DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2021.60.028>

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ У СФЕРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІКИ

Дослідження авторів стосуються розрахунку і оптимізації енергетичних витрат для збільшення точності реалізації технологічних процесів. Для цього необхідно розв'язати неklasичні задачі нелінійного математичного програмування спеціального виду. Актуальність обраної тематики відзначена в публікаціях багатьох науковців, серед яких слід виокремити наукові праці [1, 2], які стосуються розв'язання прикладних оптимізаційних задач.

Враховавши дані про особливості модельованих систем, які містять джерела дії фізичних полів, сформована крайова задача нестационарних диференціальних рівнянь. Для розрахунку і оптимізації енергетичних витрат під час побудови розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей, які описують стан модельованих систем, доцільно використати нелокальні крайові задачі систем еволюційних псевдодиференціальних рівнянь. Якщо для доказу коректності крайових задач неможливо скористатися традиційною теорією існування єдиного розв'язку, тоді потрібно використати методи з теорії псевдодиференціальних рівнянь на базі узагальнених функцій степеневого зростання. В залежності від виду диференціальних рівнянь, для їх розв'язання використовують один або декілька наближених обчислювальних методів. Завдяки реалізації прикладної оптимізаційної математичної моделі мінімізації ухилення значення функції мети від свого припустимого здійснена оптимізація енергетичних витрат систем з розподіленими параметрами. Враховавши специфічні особливості розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей (нелінійність функції мети і її параметрів, нелінійність системи обмежень, багатозв'язність області розв'язків крайових задач) обрані методи для здійснення розрахунку і оптимізації енергетичних витрат з метою збільшення точності технологічних процесів. Збільшення точності реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей досягається за рахунок збільшення частоти ітераційного процесу архітектоніки і розв'язання крайових задач з диференціальними рівняннями. Наведену авторами методику доцільно застосувати для розв'язання низки прикладних задач оптимізації систем з розподіленими параметрами.

- [1] Scoblo T.S. Features of the carbide phase degradation under heating and deformation. / T.S. Scoblo, O.Y. Klochko, V.N. Romanchenko, E.L. Belkin. // Letters on Materials. – 2021. – Vol. 11. No. 1. – Pp. 22–27.
- [2] Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekurov, D. Levkin. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111). – Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>

А.Д. Пінчук, Р.С. Одарченко

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПРОВЕДЕННЯ КІБЕРВІЙН

Протягом всього існування людства велися війни. Технології невпинно розвиваються, з'являється нове озброєння та способи ведення війни. На цьому фоні розвивається й інформаційний простір, первинною метою якого було полегшення комунікації, пришвидшення інформаційних та виробничих процесів – нова загроза для користувачів таких технологій. Людство почало використовувати кіберпростір у воєнних цілях. Тепер театр бойових дій розділяється на дві складові: традиційний простір та кіберпростір. Тож до числа сфер ведення бойових дій, окрім землі, води та повітряного простору, включається інфосфера. Основними цілями атаки є критично важлива інфраструктура – фінансова система, лікарні, енергетичні компанії, держоргани, інформаційна інфраструктура та психіка супротивника.

Одним з новітніх підходів до проведення кібервійни є **створення кіберармій** (ІТ-війська). Це найкращий спосіб зробити кібератаки масовими, а отже отримати результат швидше. В таких військах може бути кожний бажаючий, хто хоче допомогти своїй державі. Завадою не стане відсутність знань в даній сфері, адже є люди, які всьому навчать і допоможуть.

Не втратили свою актуальність і **хакерські угруповання**. Їхні дії зазвичай спрямовані на органи держуправління, державні структури та критичну інфраструктуру. Зокрема, були спроби DDoS атак на ресурси Украероруху та зафіксована brute force атака на поштові сервіси підприємства [5]. Також не виключенням є атаки на енергетичну систему. Так були здійснені кібератаки на ОЕС України з виведенням її з ладу в грудні 2015 та 2016 року. Подібні атаки проводились на енергетичні компанії США та Німеччини [3]. Потужний кіберудар отримала Україна в січні 2022 року, у соціальних мережах атака отримала тег *#attack13*. В результаті постраждали 70 сайтів, включаючи вебресурси міністерств, 10 зазнали втручання у бази даних. На сервіси деяких банків була здійснена DoS-атака. Окрім цього хакери вдаються і до deface-атак на сайти, публікуючи там повідомлення провокативного змісту [2, 4]. У зв'язку з останніми подіями, можна виділити наступні сучасні підходи до проведення кібервійн, які між собою тісно пов'язані: робота з дезінформацією та пропагандою; психологічний вплив на населення; моніторинг і збір інформації зі соціальних мереж.

Робота з дезінформацією та пропагандою. Сьогодні між інформацією та дезінформацією точиться боротьба, жертвами якої, як і в класичній війні, можуть стати мільйони людей. Дезінформація маскується та має достовірний вигляд, ховається в деталях, грає на емоціях і небажанні аналізувати.

Серед форм поширення дезінформації можна виділити текстову, відеоконтент, аудіоконтент, а серед способів — координована неавтентична поведінка, таргетинг, дїпфейки тощо.¹ Дезінформація небезпечна для

¹ Епідемія дезінформації: чому фейки стали частиною нашого життя і як “вакцинуватися” URL: <https://cedem.org.ua/analytics/epidemiya-dezinformatiyyi/>

суспільства, певної особи, функціонування нормальних державних або суспільних процесів. Є сфери, загроза для яких є особливо помітною: це охорона здоров'я, оборонна сфера і нацбезпека. Пропаганда має не менший вплив. Її завдання: нав'язати людям ті чи інші переконання за принципом "мета виправдовує засоби". Мета: розпалювання соціальної ворожнечі, ескалація соціальних конфліктів, загострення суперечностей у суспільстві, пробудження низьких інстинктів тощо. Це дозволяє роз'єднати людей, зробити їх слухняними до волі пропагандиста. Технологія створення "образу ворога" дозволяє згуртувати натовп навколо пропагандиста, нав'язати натовпу вигідні йому переконання та стереотипи. Основною функцією пропаганди є створення ілюзорної, паралельної реальності з "хибною" системою цінностей, переконань та поглядів. Отже, сама природа пропаганди така, що вона досягає своєї мети впливаючи, перш за все, на емоції людей [1]. Тож можемо сказати, що дезінформація та пропаганда здійснюють психологічний вплив на населення.

Психологічний вплив на населення. Даний підхід може бути реалізований і іншими способами, окрім пропаганди та дезінформації. Це може відбуватися в соціальних мережах: повідомлення/пости агресивного характеру, написані групами людей або ботами.

Моніторинг і збір інформації зі соціальних мереж. Даний підхід на пряму пов'язаний з попереднім. Йде моніторинг і збір інформації, якими темами цікавиться населення, що обговорюється, для подальшого використання в своїх цілях.

Отже, незважаючи на порівняно короткий час існування кіберпростору як нового визнаного міжнародного простору, від засобу, що давав змогу полегшити комунікацію у міжнародному середовищі, він швидко перейшов до простору ведення бойових дій. З подальшим розвитком інформаційних технологій та всіх складових будуть з'являтися нові методи ведення кібервійн. Тому дане питання залишатиметься актуальним, яке потребуватиме постійного вивчення, і в майбутньому.

- [1] Інформаційна безпека. Підручник / під ред. В. В. Остроухова – К.: Видавництво Ліра-К, 2021. – 412 с.
- [2] Кублік В. Гібридна кібервійна з Росією: чи готові ми до цього фронту? *ZAXID.NET*. URL: https://zaxid.net/gibridna_kiberviyyna_z_rosiyeyu_chi_gotovi_mi_do_tsogo_frontu_n1536602
- [3] Учасники проєктів Вікімедія. Кібератака на енергетичні компанії України – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Кібератака_на_енергетичні_компанії_України
- [4] Чому Україна стала полігоном для кібервійни – Юридична Газета. *Юридична газета – онлайн версія*. URL: <https://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/chomu-ukrayina-stala-poligonom-dlya-kiberviyini.html>
- [5] UKSATSE_Official. *Telegram*. URL: https://t.me/uksatse_official/674

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

Енергетичний менеджмент полягає у плануванні і управлінні виробництвом з урахуванням економічно доцільного використання енергетичних ресурсів. Актуальність теми діагностування ефективності енерговикористання при енергетичному менеджменті виробничого обладнання показано в роботі [1].

В роботі [2] авторами розглядалась функціональна схема діяльності енергоменеджера промислового підприємства. Відзначалось, що оцінка поточних енергетичних витрат і пошук способів їх зменшення є одним з головних завдань служби енергетичного менеджменту. Існуючі методи і засоби діагностування ефективності енергетичних витрат і оцінки витрат приведено в роботі [3].

В цій роботі запропонована оригінальна інформаційна технологія оцінки прихованих енергетичних витрат в енергогенеруючому та енергоспоживаючому обладнанні. В основу технології покладено порівняння результатів поточних вимірювань питомих енергетичних витрат з найкращими результатами, досягнутими на цьому обладнанні в минулому при тих самих режимних параметрах. Моніторинг відхилень поточних енерговитрат від прийнятих значень ефективного енергоспоживання може стати показником працездатності обладнання та інструментом підтримки заходів з технічного обслуговування. Конкретні несправності обладнання можна передбачити шляхом виявлення певних закономірностей споживання енергії. Швидке реагування на такі події може запобігти катастрофічним несправностям обладнання. Таким чином, діагностування ефективності енерговикористання стає рушієм підвищення надійності обладнання, стабільності технологічного процесу та якості продукції.

Більшість енергоспоживачів перетворюють отримувану енергію та сировину у корисний продукт або інший вид енергії. У цей процес перетворення залучені технологічне обладнання, продукти виробництва та виконавці. Кожна з цих ланок може впливати на енергоспоживання та привносити енергетичні втрати. Питоме енергоспоживання E технологічної системи характеризується вектором впливових технологічних параметрів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ та сукупністю випадкових неконтрольованих факторів Z , що викликають приховані енергетичні втрати ΔE .

$$E = f(X, Z) = \varphi(X) + \Delta E \quad (1)$$

Приховані енергетичні втрати у споживача можуть бути викликані порушеннями технічного стану обладнання, погіршенням властивостей сировини, помилковими діями персоналу, та іншими факторами, які, як правило, не підлягають автоматизованому контролю. Проблема полягає в

тому, щоб надати обслуговуючому персоналу інформацію про наявність та розміри прихованих енергетичних втрат в кожній технологічній системі підприємства та запропонувати шляхи до їх усунення. Метою цієї роботи є розвиток інформаційної технології, спрямованої на вирішення цієї проблеми.

Для досягнення мети пропонується використовувати методи аналізу прецедентів [4], побудовані на основі випадків стаціонарного енергоспоживання. Прецедентом стаціонарного енергоспоживання *CaseE* будемо називати випадок в роботі технологічної системи, при якому усі впливові технологічні параметри $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ в продовж певного відрізка часу залишалися в межах заздалегідь визначених допусків. В подальшому, серед усіх накопичених прецедентів, методами обробки великих баз даних, розвинутими авторами, виділяється група прецедентів ефективного (мінімального) енергоспоживання, з якими порівнюються енерговитрати в поточних режимах роботи і розраховуються втрати.

Для впровадження запропонованої технології підтримки прийняття рішень при діагностуванні ефективності енерговикористання запропонована програмно-апаратна платформа. До платформи інтегровано п'ять модулів, асоційованих із процесом управління енергоспоживанням, як це представлено на малюнку:

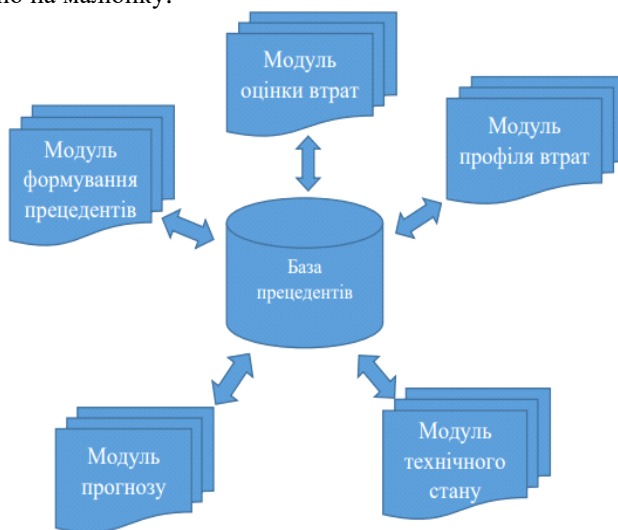


Рис. 1. Структура програмного забезпечення платформи підтримки прийняття рішень

Платформа призначена для моніторингу робочих параметрів та оцінки на їх основі енергетичного та технічного стану технологічних систем і має наступні властивості: оцінює приховані енергетичні втрати в контрольованих технологічних системах; візуалізує профілі прихованих енергетичних втрат

підприємства; описує технічний стан обладнання; прогнозує енергетичні витрати.

Платформа дозволяє підприємству виявляти та своєчасно реагувати на приховані енергетичні втрати. За рахунок цього система моніторингу відкриває можливість своєчасно проводити організаційні та технічні заходи спрямовані на зменшення енергетичних втрат та оптимізувати терміни та обсяги проведення ремонтно-відновлювальних робіт. З іншого боку платформа здатна адаптуватись до технологічних систем з різними енергоносіями. Це спрощує технологічний розвиток підприємства і переведення його на більш сучасне обладнання.

Модуль формування прецедентів призначений для виділення в похідному потоці технологічних параметрів ділянок стаціонарності і формування на їх основі моделей прецедентів стаціонарного енергоспоживання.

Модуль оцінки прихованих енергетичних втрат оригінальним способом формує ділянку функції ефективного енергоспоживання і розраховує енергетичні втрати поточного прецеденту.

Модуль формування профіля інтегрує розраховані енергетичні втрати для кожної контрольованої технологічної системи і представляє їх енергоменеджеру у зручному графічному вигляді.

Модуль оцінки технічного стану порівнює статистичні характеристики прецедентів стаціонарного енергоспоживання з моделями прецедентів з несправностями.

Модуль прогнозу і планування заснований на технологіях аналізу великих баз даних.

Висновки. Підтримка підприємств у впровадженні заходів з підвищення енергоефективності має важливе значення для їх економічного зростання. Багато підприємств висловлюють зацікавленість у заходах щодо зменшення споживання енергії, оскільки це є інструментом економії грошей та ресурсів. Таке бажання можливо реалізувати за допомогою програмно-апаратних засобів для моніторингу енергоспоживання та оцінки прихованих енергетичних втрат.

У цьому документі представлено бачення управління енергоспоживанням, інтегроване в платформу підтримки прийняття рішень, що приносить технічні та економічні вигоди від підвищення енергоефективності. Запропонована платформа має п'ять модулів, які використовують методи штучного інтелекту (методи аналізу прецедентів, навчання з вчителем, кластеризації баз даних), які дають суттєві переваги порівняно з іншими подібними підходами. Модуль формування прецедентів стаціонарного енергоспоживання базується на методах видобутку даних, що виділяють технічні деталі щодо споживання енергії та впливових технологічних параметрів. Модуль оцінки енергетичних втрат в технологічних системах використовує міркування на основі прецедентів енергоспоживання, засновані на методах кластеризації даних та пошуку найближчих сусідів до обраного прецеденту з їх подальшою статистичною

обробкою. Модулі формування профіля енергетичних втрат підприємства та аналізу технічного стану використовує методи обробки великих баз даних. Модуль прогнозування ґрунтується на застосуванні алгоритмів оптимального прогнозування застосованих до хронології прецедентів стаціонарного енергоспоживання.

При впровадженні платформи слід враховувати деякі обмеження. Перше стосується модуля визначення технічного стану, який потребує участі кваліфікованого спеціаліста, який повинен добре знати технологічні процеси, режими роботи, характеристики кожної технологічної системи та можливі несправності, які здатні викликати збільшення енергетичних витрат. Другий пов'язаний з модулем оцінки прихованих енергетичних втрат, де той самий кваліфікований штат повинен аналізувати дані про отримані енергетичні втрати та знаходити причини їх появи. Однак ці недоліки і обмеження можуть бути мінімізовані кваліфікованим персоналом, який може забезпечити ефективне управління споживанням енергії підприємства.

- [1] О.М.Богданов, Б.М.Плескач, Інформаційна технологія моніторингу ефективності енергоспоживання технологічних систем «Штучний інтелект».2019, №1-2, С.60-69. Available from: http://jai.in.ua/index.php/%D0%B0%D1%80%D1%85%D1%96%D0%B2?journal_num=79
- [2] Плескач Б.М. Самойлов В.Д.Комп'ютерна сценарно-прецедентна технологія тренування енергоменеджерів Електронне моделювання, 2021, №3, с. 75-86. Available from: <https://www.emodel.org.ua/images/em/43-3/43-3-6.pdf>
- [3] B.Pleskach Estimation of Hidden Energy Losses IntechOpen, (April 26th 2021) DOI: 10.5772/intechopen.97504. Available from: <https://www.intechopen.com/online-first/estimation-of-hidden-energy-losses> .
- [4] Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта.—М.:ФИЗМАТЛИТ, 2011 — 296 с.

КІБЕРЗАХИСТ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Під час війни кіберпростір стає інформаційним полем боротьби для фахівців з IT, інформаційної та кібербезпеки. Результатом переваги ворога в такому протистоянні можуть бути втрати живої сили та техніки наших військ. Тому актуальним стає питання переходу від кіберзахисту до кібероборони або їх поєднання.

Відповідно до Закону України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» під терміном «кібероборона» розуміється сукупність політичних, економічних, соціальних, військових, наукових, науково-технічних, інформаційних, правових, організаційних та інших заходів, які здійснюються в кіберпросторі та спрямовані на забезпечення захисту суверенітету та обороноздатності держави, запобігання виникненню збройного конфлікту та відсічі збройній агресії [1]. Водночас таке визначення не дає чіткого розуміння щодо механізмів реалізації вказаних заходів (процесів). Тобто на об'єкті критичної інфраструктури [2] (далі - ОКІ) на основі такого визначення не можуть бути розроблені операційні процедури з кібероборони. Проте наявними є операції з безпеки критичної інфраструктури, які спрямовані виключно на пасивний захист з пріоритетом недопущення несанкціонованого доступу до системи.

Під час війни справедливим є твердження Сунь-Дзи: «У становищі, коли не можеш виграти, – захищайся, якщо хочеш виграти – мусиш нападати» [3]. Це і має бути суттю поняття кібероборони, де ціль повинна стати пасткою для ворога.

Особливістю кібероборони на відміну від кіберзахисту є наявність активної фази, де знайдені вразливості у власній системі повинні стати проекцією цілей у подібних системах противника. Таким чином в системах критичного призначення під час війни є важливою наявність процедур моніторингу стану системи, сканування мереж на вразливості, розгортання інфраструктури хибних цілей, постійного обміну інформацією з активними силами кібероборони.

Таким чином основним завданням кібероборони є забезпечення безперервності функціонування систем критичного призначення об'єктів критичної інфраструктури з використанням активних заходів протидії противнику.

Управління ризиками, як складова кіберзахисту, у такому контексті повинно враховувати окрім наявних ризиків порушення функціонування систем критичного призначення можливість дзеркальних активних дій противника в кіберпросторі щодо ОКІ України.

Отже, розвиток кібероборони в напрямках розробки технічних рішень, операційних процедур, механізмів обміну даними та тактик активних дій, зокрема розробки векторів активних дій та тактик їх впровадження, враховуючи час, послідовність, дії щодо локалізації інциденту з боку противника тощо, що є необхідною складовою кіберзахисту систем критичного призначення в умовах війни.

- [1] Закон України "Про основні засади забезпечення кібербезпеки України". Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text> (дата звернення: 17.04.2022).
- [2] Закон України "Про критичну інфраструктуру". Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text> (дата звернення: 17.04.2022).
- [3] Сунь-дзи "Мистецтво війни": 7 цитат і 3 уроки з книги. Видавництво Старого Лева. URL: <https://starylev.com.ua/news/sun-dzy-mystectvo-viyny-7-cytat-i-3-uroky-z-knygy> (дата звернення: 17.04.2022).

МОДЕЛІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Верстат з ЧПК є складним та вартісним пристроєм обробки металів. При його роботі виникають навантаження на вузли, які можуть призводити до поломок. Для запобігання поломок під час виникнення великих навантажень використовують декілька систем захисту, де найбільш дієвою є електрична система, в якій відслідковується величина струму, що подається на двигун, де при перевищенні граничного значення живлення відключається. Існуючі системи захисту є відносно грубими та не можуть забезпечити більш точної та швидкої реакції органів керування на виникаюче навантаження.

Існуючі на даний час п'єзоелектричні датчики дозволяють вимірювати виникаючі навантаження під час роботи верстатів з ЧПК, що може дозволити більш впевнено контролювати процес виникнення перевантажень на агрегати верстату.

Для контролю за навантаженнями які виникають під час роботи верстатів можливо використовувати наступні типи п'єзоелектричних датчиків: датчики сили та крутного моменту, акселерометри. Ці датчики можуть бути застосовані безпосередньо на вузлах верстатів з ЧПК для отримання актуальних даних навантажень. Ці данні постпають на контролер з подальшою передачею в систему ЧПК.

- [1] Force Sensors from Kistler. https://www.kistler.com/en/products/components/force-sensors/?pfv_metrics=metric (дата звернення 28.04.2022)
- [2] Torque sensors from Kistler. <https://www.kistler.com/en/products/components/torque-sensors/> (дата звернення 28.04.2022)
- [3] Accelerometers from Kistler. https://www.kistler.com/en/products/components/accelerometers/?pfv_metrics=metric (дата звернення 29.04.2021)

МЕТОДИКА АГРЕГУВАННЯ РИЗИКІВ У ВИПАДКУ МНОЖИНИ СУМІСНИХ ВИПАДКОВИХ ПОДІЙ

Визначення агрегованого ризику, спричиненого сумісними випадковими подіями, є актуальною задачею під час визначення ймовірності сукупних втрат за заданий час, що можуть виникнути внаслідок сукупності цих подій. Але дослідження показують [1, 2], що нині не існує верифікованих методик та методів агрегування ризиків, а питання про найкращий метод агрегування ризиків залишається відкритим.

Ризик від небезпечної події пропонується оцінювати співвідношенням:

$$R = h \cdot p, \quad (1)$$

де p – ймовірність настання небезпечної події;
 h – можливі збитки від небезпечної події.

На підставі виразу (1) залежність наслідків h в результаті настання деякої події від її ймовірності p можна представити у вигляді функції:

$$h = f(R, p), \quad (2)$$

або, з урахуванням (1):

$$h(p) = R_0/p, \quad (3)$$

де R_0 – значення ризику; $p \neq 0$.

Очевидно, що в умовах декількох ризиків R_i на актив, агрегований ризик R не буде перевищувати максимальний ризик R_m і, отже, не може визначатися як алгебраїчна сума усіх ризиків R_i .

У [3] показано, що у випадку N ризиків агрегований ризик можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^N (h_i \cdot p_i) - \sum_{j=2}^N \{[\min(h_j, h_{j-1})] \cdot [\min(p_j, p_{j-1})]\} = \\ &= \sum_{i=1}^N R_i - \sum_{j=2}^N \{[\min(h_j, h_{j-1})] \cdot [\min(p_j, p_{j-1})]\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Отримані результати визначення агрегованого ризику R , дозволяють сформулювати методику агрегування ризиків у випадку множини сумісних випадкових подій, яка включає наступні основні етапи:

– Етап 1. Підготовка та введення вхідних даних.

Визначаються параметри $h_1, \dots, h_N, p_1, \dots, p_N$, які являються базовими, для обчислення агрегованого ризику. Визначення базових параметрів може бути здійснено будь-яким існуючим методом, наприклад експертних оцінок.

– Етап 2. Обчислення ризиків з використанням вхідних даних:

$$R_1 = p_1 \cdot h_1, \dots, R_N = p_N \cdot h_N.$$

– Етап 3. Обчислення мінімальних значень з пар сусідніх даних h :

$$h = \min(h_j \cdot h_{j-1}).$$

– Етап 4. Обчислення мінімальних значень з пар сусідніх даних p :

$$p = \min(p_j \cdot p_{j-1}).$$

– Етап 5. Обчислення агрегованого ризику у випадку множини сумісних випадкових подій:

$$R = \sum_{i=1}^N (h_i \cdot p_i) - \sum_{j=2}^N \{ [\min(h_j, h_{j-1})] \cdot [\min(p_j, p_{j-1})] \} = \\ = \sum_{i=1}^N R_i - \sum_{j=2}^N \{ [\min(h_j, h_{j-1})] \cdot [\min(p_j, p_{j-1})] \}.$$

– Етап 6. Візуалізація результатів обчислень.

Результати обчислень виводяться на пристрій відображення інформації і в модуль пам'яті.

Схематичне відображення методики агрегування ризиків представлено на рис. 1. На розроблену методику отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права [4].

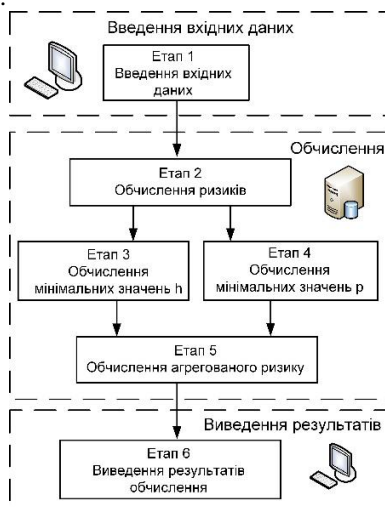


Рис. 1. Схематичне відображення методики агрегування ризиків

Запропонована методика агрегування ризиків, викликаних множиною сумісних випадкових подій, дозволяє визначати ймовірність сукупних втрат за заданий час, що можуть виникнути внаслідок сукупності цих подій, визначити мінімальне значення ймовірності повного знищення активу та мінімальні збитки, які достовірно будуть мати місце.

- [1] Мохор В.В. Оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури / Мохор В.В., Гончар С.Ф. // Електронне моделювання. – 2019. – Т.41. – № 6. – С. 65-76.
- [2] Рудик В.Д., Гончар С.Ф. Нестационарні часові похибки в лінійних вимірювальних каналах. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. - № 1. – С. 64-67.
- [3] Гончар С.Ф. Метод агрегування ризиків у випадку множини сумісних випадкових подій / Гончар С.Ф., Бакалинський О.О., Дибач О.М., Дімітрієва Д.О. // ДНТЦ ЯРБ. 2022. № 1(93) – С.44-50. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.1\(93\).05](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.1(93).05).
- [4] Мохор В.В., Гончар С.Ф., Бакалинський О.О., Чьочь В.В. Методика агрегування ризиків множини сумісних випадкових подій : Свідоцтво про реєстрацію авторського права на Науковий твір, №112577, 05.04.2022р.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ В ОПТИЧНІЙ СИСТЕМІ СОНЯЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Існують дзеркала для фокусування і управління лазерним променем, здатні відбивати високопотенційне випромінювання близько 10 МВт/см^2 , але при віддзеркаленні сонячного випромінювання підвищеної енергетичної щільності близько 10 кВт/см^2 (на три порядки менше), такі дзеркала за лічені секунди розжаряться і згорять. Це обумовлено особливостями сонячного випромінювання, на відміну від лазерного, воно неполяризоване, що вимагає спеціального підходу при проектуванні оптичних систем енергетичних концентраторів сонячного випромінювання.

Неполяризоване випромінювання містить як s- так і р-поляризовані хвилі. Нагрів опромінюваної віддзеркалювальної поверхні відбувається із-за часткового поглинання енергії світла, причому поглинається в основному р-поляризована хвиля, через що відбите випромінювання прийнято вважати поляризованим. Але поляризація при віддзеркаленні не завжди має місце, як власне і поглинання світлової хвилі, отже, за певних умов нагрів відбивачів можна звести практично до нуля.

По теперішній час не існує серйозних досліджень в області віддзеркалювальних поверхонь сонячного суперконтинууму і, отже, оптичних систем концентруючих установок, здатних передати енергетичну складову сонячного випромінювання. По допомогу в рішенні цієї задачі звернемося до природи, а саме до віддзеркалювальних поверхонь, які створені еволюцією у деяких комах, для захисту від сонячних променів.

Захисний панцир у комах (наприклад бронзовки рис.1) має властивості оптичної анізотропії, за рахунок чого зміщується кут Брюстера, при якому р-поляризована хвиля має максимальне поглинання.



Рис. 1. Бронзовка

Згідно з проведеними дослідженнями, при оптичній анізотропії за типом негативного кристала, кут Брюстера зміщується в область кутів нормального падіння, за типом позитивного кристала - в область кутів ковзання. Таким чином, для заданих кутів падіння, ми можемо отримати відбиваючу здатність неполяризованого випромінювання, застосувавши дзеркала з необхідною анізотропією. Так в оптичній системі сонячного концентратора [1], на відбиваючі елементи, які працюють в щільних енергетичних полях, випромінювання падає під ковзаючим кутом, отже, тут відбивачі мають

негативну анізотропію. У оптичній системі [2], асферичні дзеркала опромінюються під кутом близьким до нормального падіння, в цій системі відбивачі мають позитивну анізотропію.

Найбільший теплоенергетичний потенціал сонячного випромінювання знаходиться в інфрачервоному (ІЧ) спектрі. На цих частотах із-за дисперсії відбувається зміщення кута Брюстера в область кутів ковзання, в цьому плані вигідніше відрізняється оптична система [2], у якій відбиваючі елементи опромінюються при кутах в області нормального падіння.

Тут необхідно сказати, що при нормальному падінні на ІЧ-частотах, металеві відбивачі мають практично сто процентний коефіцієнт віддзеркалення, причому незалежно від поляризації випромінювання що падає. Що важливо - ці характеристики зберігаються в деякій області кутів поблизу нормального падіння (рис.2), що дає можливість створити оптичну систему, яка матиме хороші енергетичні характеристики.

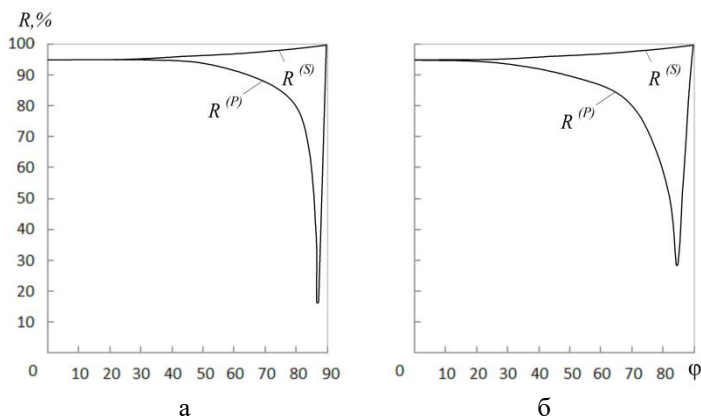


Рис. 2. Кутові залежності відбиваючої здатності на частотах ІЧ -спектра: а - заліза; б - міді; криві $R(P)$ відповідають р-поляризації, криві $R(S)$ - s-поляризації [3]

Позитивна анізотропія посилює ефект в області нормального падіння за рахунок додаткового зміщення кута Брюстера в область кутів ковзання. Завдяки цьому можливо наблизитися до абсолютної пропускнуєї спроможності енергетичного потенціалу сонячного випромінювання.

Очевидно, що рішення задачі енергетичної пропускнуєї спроможності лежить в області кутів нормального падіння. Враховуючи це, запропонована нова перспективна оптична система сонячного енергетичного концентратора, з повною компенсацією зональної аберації, в якій виконується самофокусировка високопотенційного світлового пучка за рахунок послідовних компенсацій викривлень хвильового фронту, що дозволить отримати високу міру колімації енергетичного потоку на виході.

Також запропонована нова система світловода, заснована на променевих директах (рис.3), яка спроможна передати енергетичну складову сонячного випромінювання.

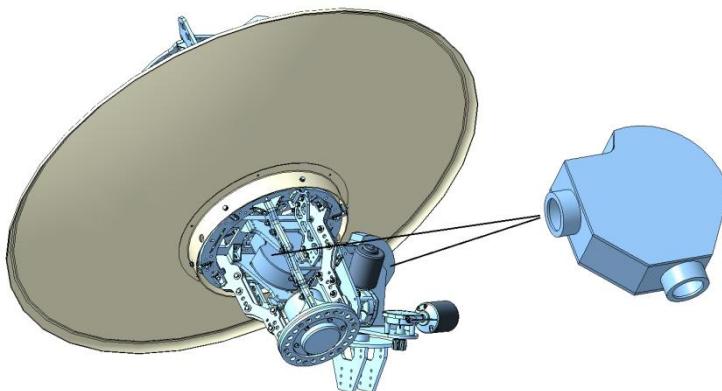


Рис.3. Променеві директи у складі сонячного енергетичного концентратора

Таким чином, за рішенням завдання з пропускною спроможністю енергетичної складової, оптичні системи сонячних концентраторів можна розділити на два типи: системи при кутах ковзаючого падіння і системи при кутах нормального падіння.

Варто відмітити, що в системі при кутах нормального падіння виконується умова збереження поляризації сонячного випромінювання, що зробить можливим реалізувати процес фотолізу, аналогічний тому, що при фотосинтезі.

- [1] Патент на винахід 120802, Україна, МПК (2020.01) F24S 10/00, G02B 6/00, F24S 20/20 (2018.01), F24S 23/00. Пристрій для концентрації і передачі сонячного випромінювання / Чернозьомов Є.С. № а 2018 06907; заяв. 20.06.2018; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.
- [2] Патент на корисну модель 149777, Україна, МПК (2021.01) F24S 10/00, F24S 20/00, F24S 23/00, G02B 6/00. Концентратор-коліматор сонячного випромінювання на основі гіперболоїда / Чернозьомов Є.С. № у 2021 04520; заяв. 04.08.2021; опубл. 01.12.2021, Бюл. № 48.
- [3] Абильситов Г.А., Голубев В.С., Гонтарь В.Г. и др. Технологические лазеры: Справочник: В 2 т. Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация. / Под общ. ред. Г.А. Абильситова. М.: Машиностроение, 1991, 432 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІАМЕТРУ ТА ВИСОТИ ОСІ ВІТРОКОЛЕСА НА ПРИРІСТ РІЧНОГО ВИРОБІТКУ ВІТРОЕЛЕКРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Величина річного виробітку електроенергії ВЕУ є основним критерієм оцінки ефективності її роботи у конкретних вітрокліматичних умовах. Найчастіше вона представляється у вигляді згортки [2] двох функцій: кривої потужності (КП) ВЕУ із заданими технічними характеристиками, та диференціального розподілу швидкості вітру на території, що розглядається.

Проте, останнім часом намітилася тенденція виробників ВЕУ не опубліковувати КП своїх виробів, що істотно ускладнює проведення розрахунків виробітку електроенергії. Крім того, при підборі ВЕУ під конкретні вітрові умови нерідко виникає потреба у розрахунках виробітку електроенергії ВЕУ з параметрами, які відсутні в обмеженому асортименті представлених на ринку моделей.

Розробка математичної моделі (ММ) множинної лінійної регресії [3] річного виробітку електроенергії ВЕУ, що визначає вплив окремих параметрів (пояснюючих факторів): діаметру вітроколеса (ВК) D , висоти осі ВК H та номінальної потужності генератора P та інших на величину річного виробітку ВЕУ у вигляді функції $Q = f(P, D, H)$ істотно спрощує проведення подібних розрахунків, оскільки потрібно лише одноразове визначення річного виробітку вибіркового моделі ВЕУ на декількох висотах розташування осі ВК.

За даними вітрових вимірів на майданчику пілотної Аджигольської ВЕС, розташованій в Північному Причорномор'ї України з використанням КП ВЕУ потужністю 1,5 – 3,2 МВт було розроблено ММ виду (тут Q у МВт·год; P у МВт; D та H у метрах)

$$Q_1 = -7126,25 + 1348,594 \cdot P + 97,52617 \cdot D + 28,81139 \cdot H \quad (1)$$

На сьогоднішній день область адекватності ММ (1) (до 3,2 МВт) недостатня. Так, за останні роки, номінальна потужність вітропарків України, що вводяться в експлуатацію, істотно зростає і наближається до значення у 5 МВт. Тенденція зростання номінальної потужності продовжується, що вимагає перерахунку коефіцієнтів ММ (1).

У подальшій роботі за даними [1] був сформований набір з 16-ти КП ВЕУ потужністю 3,5 – 8 МВт та з урахуванням даних багаторічних висотних вітрових вимірювань поблизу с. Іванівка Миколаївської області, було визначено теоретичні виробітки даних ВЕУ на висотах 50, 80, 100, 120, 140 та 160 м (всього 96 значень).

Отримана нова ММ виду:

$$Q_2 = -15260,7 + 1195,699 \cdot P + 137,2119 \cdot D + 73,08151 \cdot H \quad (2)$$

показує суттєве зростання коефіцієнтів при D (на 40 %) та H (на 150 %), а вплив умовного 1 МВт потужності генератора навпаки дещо знизився (на 11%).

Подальше дослідження було спрямоване на визначення факторів, що вплинули на зміни даних коефіцієнтів. Для цього за даними [1] були сформовані набори з декількох моделей ВЕУ однакового виробника потужністю 2; 2,5 та 2,45 МВт (наприклад, ВЕУ Vestas V112; V117; V126 та V136 потужністю 3,45 МВт) та з урахуванням даних вітрових вимірювань поблизу с. Іванівка, було визначено теоретичні виробітки даних ВЕУ на висотах 50, 80, 100, 120, 140 та 160 м.

На першому етапі були визначені прирости dQ річного виробітку ВЕУ на 1 м висоти (у МВт·год) у кожному діапазоні висот з прив'язкою до його середини (наприклад, для діапазону 50 – 80 м це точка 65 м і т.д.). Результати співставлення представлені на рис. 1.

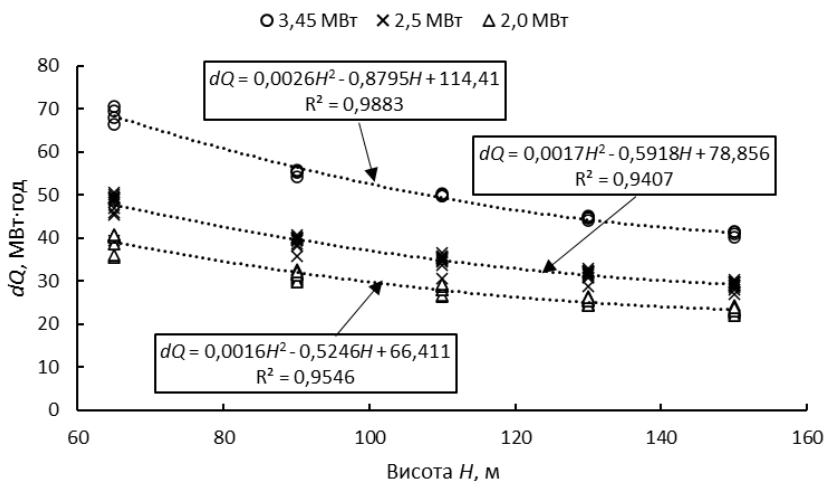


Рис.1 Залежність приросту річного виробітку ВЕУ від висоти осі ВК для умов Північного Причорномор'я України

Рис.1 наглядно ілюструє що, відповідно існуючої світової тенденції поступового збільшення усіх параметрів ВЕУ (P , D , H), саме параметр номінальної потужності генератора ВЕУ P суттєво впливає на зростання величини приросту річного виробітку ВЕУ dQ на 1 м висоти (коефіцієнт при H), тоді як збільшення висоти розташування осі ВК має протилежну дію. А високі показники коефіцієнтів детермінації підтверджують незначний вплив діаметру ВК D на даний приріст.

Другий етап дослідження був спрямований на визначення впливу збільшення діаметру ВК на 1 м на приріст річного виробітку dQ (рис. 2).

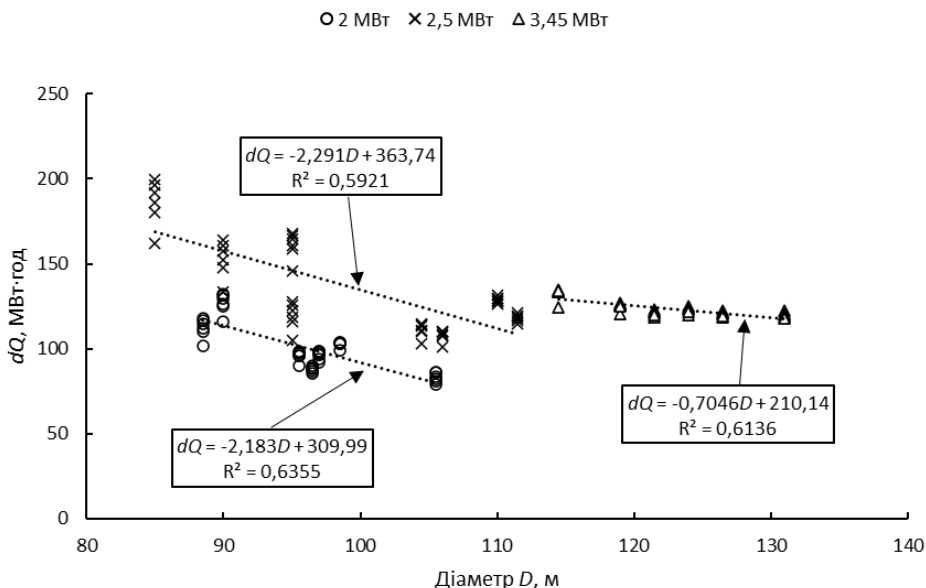


Рис. 2 Залежність приросту річного виробітку ВЕУ від діаметру ВК для умов Північного Причорномор'я України

З рис. 2 видно, що зростання величини приросту річного виробітку ВЕУ dQ на 1 м діаметру (коефіцієнт при D) також зумовлене відповідним збільшенням номінальної потужності генератора P , а не діаметру ВК D . Разом з тим отримані залежності потребують уточнення через досить низьку якість отриманої статистики.

- [1] База даних сайту <https://en.wind-turbine-models.com>
- [2] Васько П.Ф. Определение технических показателей эффективности использования агрегатов в Украине / П.Ф. Васько, А.А. Брыль, П.П. Пекур // Энергетика и электрификация. – 1995. – №2. – С. 48 – 51.
- [3] Подгуренко В.С. Математическая модель задачи эффективности и один из методов её решения для увеличения выработки электроэнергии ветроэлектростанциями / В.С. Подгуренко, О.М. Гетманец, В.Е. Терехов // Моделивання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова – 2019. – Вип. 86. – С. 50 – 55.

С.М. Дяченко

ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ СОНОТРОДІВ, ЯК РЕЗОНАТОРА КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ

В усіх технологічних процесах, які пов'язані з передачею ультразвукової енергії, важливою проблемою є побудова високоефективної коливальної системи. Технологічні процеси – це процеси, які оперують високими питомими потужностями. Зазвичай таким вимогам відповідають резонансні електромеханічні коливальні (ЕКС) системи з великою добротністю.

Сучасна промисловість використовує багато технологічних процесів, де можуть бути використані такі коливальні системи. Декілька прикладів - ультразвукове зварювання полімерів та металів, ультразвукова розмірна обробка крихких матеріалів, поверхнева обробка металів для зміцнення та підняття класу чистоти, обробка металевих сплавів під час лиття, дрібнодисперсне розпилювання рідини та інші.

Зазвичай ЕКС складається з трьох частин; електромеханічний перетворювач (для технологічних цілей найкраще підходять п'єзокерамічні перетворювачі) та два пасивних резонатора, які прийнято називати бустер (booster) та сонотрод (sonotrode). Ці три частини мають бути настроєні на одну робочу частоту, тобто частоту власних вільних коливань. Вони є резонаторами з основною формою коливання, яка зветься модою коливання і, я правило, це найнижча не нульова частота в спектрі резонатора. Для резонатора в вигляді стержня – це частота, при котрій по довжині стержня укладається половина довжини повздовжній хвилі коливання. Для резонаторів, які відрізняються від класичного стержня, тобто коли діаметр менше половини довжини стержня, чи, наприклад, має форму паралелепіпеда, чи має якісь технологічні отвори, власна частота коливань відрізняється від стержневої і не має жорсткого зв'язку із значенням «половина довжини повздовжній хвилі коливання» з довжиною резонатора. Зазвичай перетворювач і бустер відповідають вимогам «класичного» стержневого резонатора[1].

Сонотрод це кінцевий елемент в системі ЕКС. Тобто це граничний елемент між технологічним середовищем і ЕКС. Цей факт має місце для будь якої системи- яка складається з трьох компонент, чи любої другої кількості резонаторів системи. На рис.1 показано посилення амплітуд механічного переміщення від перетворювача (конвертера) до вихідного торця сонотроду з 3,23 мкм на перетворювачі, до 28,35 мкм на сонотроді.

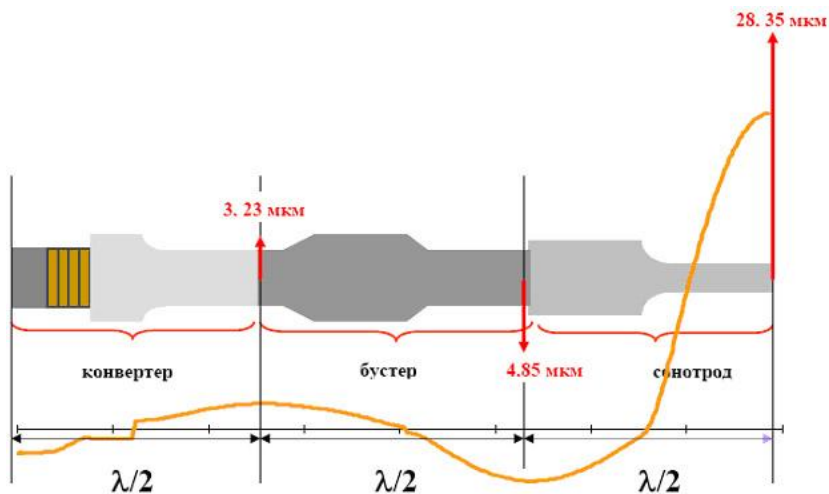


Рис.1 Трьох - компонентна УКС. Показано графік механічного переміщення

До сонотродів пред'являють особливі вимоги ніж до інших елементів коливальної системи. Це стосується всіх технологічних процесів, але це особливо помітно в технології ультразвукового зварювання полімерів (УЗЗ полімерів).

Перерахуємо основні вимоги до сонотродів УЗЗ полімерів:

- мати резонанс на певній частоті;
- залежно від способу введення коливань у виріб резонансна мода руху повинна характеризуватись однорідним розподілом нормальної або дотичної складової переміщень на робочій поверхні;
- мати заданий коефіцієнт посилення переміщення;
- повинна бути достатня циклічна міцність;
- низький рівень вібророзігріву, тощо.

Для УЗЗ полімерів одним із важливих завдань при проектуванні сонотроду полягає в тому, щоб за заданою формою шва змодельовати конфігурацію сонотроду[2].

При моделюванні стрижневих сонотродів, що мають форми, близькі до класичних, наприклад, ступінчастий стержень, конус, експонента, катеноїда - можна використовувати аналітичні вирази з використанням коригувальних коефіцієнтів. З іншою ситуацією ми стикаємося при моделюванні сонотродів не стрижневого типу і які мають лінійні розміри, що перевищують половину довжини стрижневої хвилі для матеріалу, з якого буде виготовлений сонотрод.

Методологічною основою для моделювання таких сонотродів може бути інформація, що лежить в основі розуміння хвильових процесів. Методики проектування таких виробів, можуть бути отримані шляхом вивчення

дисперсійного спектра нормальних мод нескінченного (надалі кінцевого) шару, що імітує пластинчасті або сонотроди у вигляді паралелепіпеда [3].

Сонотроди функціонують в стані інтенсивних коливань, у загальній математичній моделі процесу необхідно враховувати фізичну нелінійність матеріалу, вібраційний розігрів та залежність властивостей матеріалу від температури.

Зазвичай розв'язання завдання моделювання роботи сонотрода вирішуються ітераційним методом змінних параметрів пружності разом із методом кінцевих елементів.

Для вибору оптимальної конфігурації вживається спосіб проб і помилок. Нерідко вдається реалізувати оптимізаційні процедури.

Роль методів оптимального проектування зростає при моделюванні довгоконтурних, багатоступінчастих або суттєво тривимірних сонотродів, що мають високу структурну чутливість [4].



Рис.2 Приклад суттєво тривимірного сонотроду

Проте їхнє практичне застосування стримується необхідністю великих обчислень (використання потужних комп'ютерів) і не технологічністю одержуваних конфігурацій. Робочі частоти зазначених сонотродів лежать у щільному спектрі, тому основне завдання, яке вирішується на етапі конкретизації їхньої геометрії, полягає у відбудові від паразитних частот. Для її успішного вирішення необхідно досягти чітких уявлень про те, як зміна геометрії тіла сонотроду впливає на частоти робочої та суміжні паразитні моди [5].

Загалом проблема моделювання сонотроду виходить за межі розрахунку лише самого сонотрода як ізольованого елемента системи УЗЗ полімерів. Подібна ідеалізація прийнятна лиш для розрахунку його власних характеристик і "холостих" режимів. Амплітуди і фази переміщень, деформацій і напружень у технологічному циклі визначаються такими факторами як взаємодія з навантаженням, що змінюється в часі, шириною смуги і типом автопідстроювання частоти збудження генератора, тощо. Ці фактори є визначальними при оцінці втомної, міцності та вібророзігріву сонотродів [6].

Коло окреслених проблем вивчено ще недостатньо. Їх дослідження і визначить, мабуть, напрям робіт у цій галузі на найближчу перспективу.

- [1] С.Дяченко Ультразвуковая сварка деталей из термопластов. // Журнал "ММ Деньги и Технологии"- №7-8, 2003
- [2] И.К. Сенченков Модальная классификация и проектирование сонотродов для ультразвуковой обработки материалов.//Акустичний вісник. 1998.Т.1 №4 С.55-64
- [3] Сенченков И.К., Червинко О.П., Дяченко С.М. Частотно-модальный контроль длиноконтурных сонотродов на квазитолщинной моде колебаний. Збірник праць. Акустичний симпозиум. "Консонанс-2008", Київ-2008, с.317-325
- [4] Andreas Schubert, Henning Zeidler, Stephan F. Jahn, Sebastian Flemmig, René Schulze. Vibration Analysis of an Ultrasonic-Assisted Joining System.// 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013
- [5] Francois Brouet a,n, Jens Twiefel b, Jörg Wallaschek. Modal interaction in ultrasonic welding block sonotrodes induced by the mistuning of the material properties. // Journal of Sound and Vibration, v.381, 2016 p.1-13
- [6] Сенченков И.К. Резонансные колебания стерновой системы с автоподстройкой частоты.// Прикл. мех.-1991.-27, №9.-С.92-99.

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ БАГАТОФАКТОРНОГО КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Сьогодні розвиток електроенергетики України відбувається в умовах функціонування лібералізованої моделі ринку електричної енергії [1-4] та збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [5] в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України. Слід зважати, що ВДЕ є нерегульованими джерелами виробництва електричної енергії з різко нерівномірним графіком покриття навантаження [6-7]. Поточна похибка прогнозування відпуску електричної енергії ВДЕ призводить до додаткових суттєвих витрат на врегулювання небалансів, а також обумовлює потреби ОЕС України в обсягах додаткових допоміжних послуг [8-10], зокрема і регулюючих потужностей, яких вже фактично не вистачає для забезпечення функціонування встановленої потужності ВДЕ. Тому проблема якісного прогнозування відпуску електричної енергії виробниками з ВДЕ набирає актуальності в Україні [5-7]. Починаючи з 2022 р. відповідальність за небаланси для виробників з ВДЕ складатиме 100%, що стимулює виробників з ВДЕ до ефективного прогнозування своїх графіків генерації електроенергії.

Доля сонячної енергетики в Україні зростала з великою швидкістю протягом останніх років, а щорічний приріст світових потужностей становить приблизно на рівні 40%, оскільки технології виготовлення сонячних панелей зробили їх більш потужними та дешевими. Це обумовлює актуальність задач прогнозування відпуску електричної енергії такими виробниками.

Одним із сучасних методів прогнозування є модель градієнтного бустингу. З метою аналізу ефективності цієї моделі для прогнозування відпуску електричної енергії СЕС було використано бібліотеку LightGBM (Microsoft) [11] та побудовано алгоритм прогнозування з горизонтом упередження на 1 та 24 години. Для перевірки його працездатності та ефективності використання для прогнозування СЕС використано дані генерації вінницької електростанції та метеорологічні дані з квітня 2018 року по квітень 2019 [12]. Навчання моделей проводилося на перехресних перевірках з підбором гіпер параметрів, а саме: кількість дерев, глибина дерева, крок навчання (learning rate), відсоток кількості факторів для побудови дерева.

Прогнози LightGBM порівнювались з іншими моделями реалізованими в програмному середовищі Python в бібліотеці scikit-learn а саме ElasticNet та MLPRegressor (моделі багатозарового перцептронів та лінійної регресії).

Похибки прогнозування з використанням обраних моделей на 1 та 24 години представлені у таблицях 1 та 2 відповідно. Як видно з наведених даних метод градієнтного бустингу показує вищу точність прогнозування у порівнянні з багатозаровим перцептроном, особливо для упередження на 1

годину. З результатів видно, що всі моделі є точнішими під час прогнозування одногодинного інтервалу у порівнянні із періодом в одну добу.

Таблиця 1

Похибки прогнозування на 1 годину наперед

Модель	Тренувальний період		Тестовий період	
	RMSE	RMSE / середню генерацію	RMSE	RMSE / середню генерацію
Гرادієнтний бустинг	294	0.33	450	0.6
Багатошаровий перцептрон	399	0.45	436	0.58
Лінійна регресія	644	0.73	702	0.94

Таблиця 2

Похибки прогнозування на 24 години наперед

Модель	Тренувальний період		Тестовий період	
	RMSE	RMSE / середню генерацію	RMSE	RMSE / середню генерацію
Градієнтний бустинг	592	0.67	934	1.24
Багатошаровий перцептрон	684	0.78	955	1.27
Лінійна регресія	802	0.91	977	1.3

На рис. 1 показано оцінку похибки прогнозування кожної обраної для порівняння моделі. З рисунку видно, що інтерквартильні розмахи для методів бустингу та багатошарового перцептрону достатньо невеликі, що свідчить про невеликі похибки для багатьох значень. Також видно значну кількість великих викидів на яких моделі мають значне відхилення.

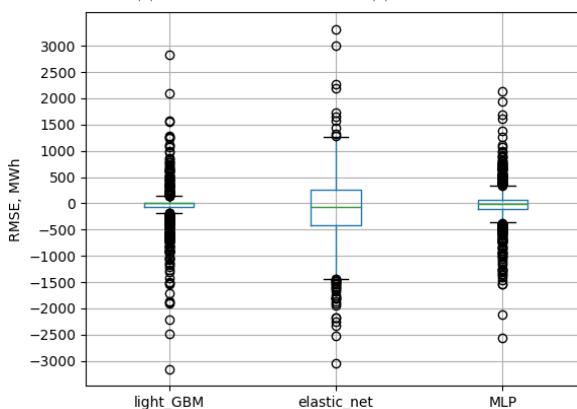


Рис. 1. Похибки моделей прогнозування відпуску СЕС

За результатами досліджень встановлено, що для обраного горизонту прогнозування, сукупності факторів та вхідної ретроспективної інформації

серед розглянутих моделей найкращими методами виявились градієнтний бустинг та багатошаровий перцептрон. З невеликою різницею в прогнозуванні на одну годину кращою виявилась модель багатошарового перцептрон, а в прогнозуванні на 24 години – градієнтного бустингу. Лінійна регресія продемонструвала значно гірші результати в обох варіантах прогнозування. Таким чином, можна зробити висновок, що для прогнозування відпуску СЕС з упередженням прогнозування на 1 та 24 години кращими серед обраних моделями зі схожими результатами виявились градієнтний бустинг та багатошаровий перцептрон. Встановлено, що обидві моделі мають велику кількість значних відхилень на які слід сконцентрувати увагу для їх зменшення під час розвитку моделей прогнозування та підвищення їх точності.

- [1] Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 №2019-VIII.
- [2] Постанова НКРЕКП «Про затвердження Правил ринку» №307 від 14.03.2018.
- [3] Ivanov H., Blinov I., Parus Ye. Simulation Model of New Electricity Market in Ukraine// 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). 2019. P. 339-342. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764184>
- [4] Блінов І.В., Попович В.І. Гармонізована рольова модель європейського ринку електроенергії. Проблеми загальної енергетики. - 2011. - Вип. 3. - С. 5-11
- [5] Кириленко О.В., Басок Б.І., Базєв Є.Т., Блінов І.В. Енергетика України та реалії глобального потепління // Технічна електродинаміка. 2020. № 3. С 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>
- [6] Блінов І.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлювальних джерел енергії. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2019. Вип. 54: С. 5–12 DOI: 10.15407/publishing2019.54.005
- [7] П.Д. Лежнюк, С.В. Кравчук, А.С. Кульматицька «Прогнозування генерування фотоелектричних станцій на добу наперед», Вінницький національний технічний університет
- [8] Блінов І.В., Парус Є.В., Рибіна О.Б. Способи визначення плати електростанціям за готовність та фактичне надання послуг з первинного та вторинного регулювання частоти в Україні. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2012. Вип. 33. с. 128-134
- [9] Блінов І.В. Теоретичні та практичні засади функціонування конкурентного ринку електроенергії. Київ: Наукова думка. 2015. С. 250
- [10] Олефір Д.О., Бабіч В.Ю., Блінов І.В. Актуальні проблеми забезпечення ОЕС України ресурсами регулювання частоти та потужності. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2021. №3. С. 39 - 46. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2021.251196>
- [11] Лежнюк П.Д., Комаров С.В., Дідіченко Є.С., “Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед”, BHTU, KNESS R&D Center
- [12] Guolin Ke, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, Tie-Yan Liu, “LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree”, Part of Advances in Neural information processing system 30 (NIPS 2017)

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ DDoS-АТАК ТА МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ВІД НИХ

Жертвами DDoS-атак останнім часом стають безліч українських компаній та державних установ. Атаки типу DDoS вже стали звичним явищем як для бізнесу так і для держави.

Метою такої атаки являється блокування на деякий час доступ до онлайн-ресурсу шляхом перевантаження каналу запитами, внаслідок чого установа зазнає суттєвих фінансових та репутаційних втрат. Ситуація посилюється тим, що DDoS-атаку сьогодні може організувати практично будь-хто і вартість атаки невелика. Така доступність і простота організації атаки ставлять під загрозу практично будь-яку компанію, яка має недоброзичливців. Навіть якщо зловмисникам не вдається повністю позбавити користувача доступу до інформаційних ресурсів компанії, їхня тимчасова недоступність також є серйозною проблемою. Якщо в разі злому системи зловмисники крадуть дані клієнтів та конфіденційну інформацію, то DDoS-атака може стати причиною втрати репутації, відтоку існуючих клієнтів або позовів до суду за ненадані послуги.

Хоча майже всі DDoS-атаки припускають перевантаження цільового пристрою чи мережі трафіком, атаки можна поділити на три категорії. Зловмисник може використовувати один або кілька різних векторів атаки або циклічно повторювати вектори атаки у відповідь на контрзаходи.

DDoS атаки можна розділити на три групи:

1. Атаки на канал - дана категорія атак спрямована на насичення смуги пропускання.
2. Атаки на рівні протоколів - ця категорія спрямована на обмеження обладнання або вразливість різних протоколів.
3. Атаки на рівні додатків - такі атаки спрямовані на вразливі частини програмних додатків та операційних системах, вони призводять до непрацездатності будь-якої програми чи ОС.

В табл. 1. представлені основні типи DDoS-атак та способи захисту від них. Ключовою проблемою для протидії DDoS-атаки є розмежування між трафіком атаки та звичайним трафіком.

Наприклад, якщо веб-сайт компанії переповнений запитами клієнтів, відключення всього трафіку є помилкою. Якщо у цієї компанії раптом виникне сплеск трафіку від зловмисників, ймовірно, потрібні зусилля, щоб пом'якшити атаку. Складність полягає в тому, щоб відрізнити реальних клієнтів від трафіку атаки.

У сучасному Інтернеті DDoS-трафік зустрічається в багатьох формах. Конструкція трафіку може відрізнитися від непідроблених атак з одним джерелом до складних і адаптивних багатовекторних атак. Багатовекторна DDoS-атака використовує кілька методів атаки, щоб по-різному завдати шкоди цілі. траєкторії.

Таблиця 1

Типи DDoS-атак

Тип атаки	Об'єкт атаки	Спосіб захисту
Атаки на канал (L2)	"Забивання" каналу (Amplification)	Підтримка доступу до зовнішньої мережі за рахунок збільшення ємності каналу
Атаки на рівні протоколів (L3, L4)	Порушення функціонування мережної інфраструктури. Експлуатація слабких місць TCP-стеку.	Аналітика мережної інфраструктури, відстеження проблем на транзитному обладнанні. Аналіз поведінки TCP-клієнтів та TCP-пакетів на сервері, зокрема евристичний аналіз.
Атаки на рівні додатків (L7)	Атаки націлені на рівень, на якому веб-сторінки генеруються на сервері та доставляються у відповідь на HTTP – запити.	Поведінковий та кореляційний аналіз, використання інструментів моніторингу. Брендмауер веб-додатків (WAF)

Прикладом багатовекторної DDoS-атаки є атака, яка одночасно спрямована на кілька рівнів стеку протоколів 3-го та 4-го рівнів, у поєднанні з потоком HTTP (націлений рівень 7).

Пом'якшення багатовекторної DDoS-атаки потребує різноманітних стратегій для протидії різним траєкторіям.

Для протидії багатовекторним DDoS-атакам бажано використовувати декілька методів захисту наприклад поєднання Web Application Firewall та Content Delivery Network.

Content Delivery Network дозволяють доставляти контент сайту за допомогою розподіленої мережі. Трафік розподіляється по безлічі серверів, зменшується затримка доступу користувачів, зокрема географічно віддалених. Таким чином, хоча основна перевага CDN – це швидкість, вона є також бар'єром між основним сервером та користувачами.

Web Application Firewall моніторить трафік між сайтом або програмою та браузером, перевіряючи легітимність запитів. Працюючи на рівні додатків, WAF може виявляти атаки по шаблонах і виявляти незвичну для користувача поведінку. Як і CDN, можна скористатися сервісами WAF у хмарі.

ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ

Найвідомішим шляхом боротьби з помилками, що виникають внаслідок впливу завад у каналах зв'язку, в тому числі – в кіберфізичних системах об'єктів критичної інфраструктури, є використання спеціальних коригуючих кодів, здатних виправляти помилки. Ефективність такого підходу безпосередньо залежить від якості кодування, яка в свою чергу повністю визначається відповідною породжувальною матрицею. Один з підходів до пошуку таких кодів полягає у підборі рядків породжувальних матриць з використанням НРС-ресурсів. Комбінування деяких методів та технік дозволяють уникнути повного перебору всіх можливих комбінацій та за певних умов здобути непогані результати при помірних часових витратах.

Найважливішою характеристикою коригуючого коду є кількість помилок, яку цей код здатний виправити. Ця величина напряму пов'язана з мінімальною кодовою відстанню даного коду. Оскільки цінність коригуючого коду тим вища, чим більшу кількість помилок він здатний виправити, задачу пошуку найкращого коду можна сформулювати, як пошук такої породжувальної матриці, для якої мінімальна відстань коду приймає максимально можливе значення. При цьому на практиці для створення коригуючих кодів можуть бути використані тільки матриці з непарними значеннями максимальної кодової відстані.

Аналізуючи попередні результати проведених розрахунків, можна зробити наступні висновки.

1. Матриць з непарними значеннями максимальної кодової відстані, які мають практичний інтерес, значно менше, ніж з парними.

2. Закономірний характер їх розташування в просторі параметрів дозволяє вилучити з розрахунків значну кількість розмірностей коду, для яких отримання непарної відстані гарантовано неможливе.

3. Існують локації, в яких навпаки – поява непарної відстані очікується, фактично, з вірогідністю 0,5. На цих ділянках є сенс шукати найкращі коди.

Дані результати дозволяють прискорити ресурсоемний процес пошуку за рахунок виключення гарантовано непотрібних обчислень.

Оцінити обчислювальний час, потрібний для пошуку породжувальних матриць не є тривіальною задачею. Крім численних евристик, використаних для скорочення цього часу, а також технік та прийомів, застосованих при оптимізації коду, на час обчислень також суттєво впливає використання кешу 3-го рівня центрального процесора, на якому виконуватиметься програма. Тому для верхньої оцінки цієї величини пропонується використовувати змішаний емпірично-теоретичний підхід.

У Табл. 1 наведено залежність часу розрахунків (у секундах) лінійного (n, k) -коду від довжини n для деяких значень його параметрів.

Результати розрахунків

n	$n-k$	24	25	26	27	28	29	30	31
	2^n								
40	$1,0995 \cdot 10^{12}$	9	5	8					
41	$2,1190 \cdot 10^{12}$	13	8	10	29				
42	$4,3980 \cdot 10^{12}$	14	9	13	30	129			
43	$8,7960 \cdot 10^{12}$	15	12	15	33	134	248		
44	$1,7592 \cdot 10^{13}$	20	13	16	35	139	278	237	
45	$3,5184 \cdot 10^{13}$	114	19	19	37	141	749	275	256
46	$7,0368 \cdot 10^{13}$	157	100	25	40	145	795	1411	562
47	$1,4073 \cdot 10^{14}$	164	560	66	45	146	796	1926	1191
48	$2,8147 \cdot 10^{14}$	236	601	925	87	152	805	5186	1833
49	$5,6294 \cdot 10^{14}$	2039	719	1323	579	195	814	5554	10222
50	$1,1258 \cdot 10^{15}$	2545	2066	9520	1017	669	843	5367	12740
51	$2,2517 \cdot 10^{15}$	3294	3885	12400	17762	1054	1325	5661	40933
52	$4,5035 \cdot 10^{15}$	6616	3017	11528	32744	8710	1721	5949	44197
53	$9,0071 \cdot 10^{15}$	37997	9360	13057	152864	17660	10218	6695	44529
54	$1,8014 \cdot 10^{16}$	151153	38789	17617	170317	291377	28878	14488	46169
55	$3,6028 \cdot 10^{16}$	163655	77426	51653	298072	484709	167779	29946	56533
56	$7,2057 \cdot 10^{16}$	261207	84538	88434	208767	1518554	359496	170976	66190

Аналіз експериментальних даних свідчить, що чинник випадковості, який суттєво впливає на фактичний час обчислень, є більш помітним при зміні лише одного з параметрів коду, але при їх одночасному збільшенні випадковість менша. Тому пропонується будувати апроксимаційну залежність як функцію від однієї змінної – n . Оскільки оцінка обчислювальної складності використаного методу має порядок $O(2^n)$, апроксимуємо емпіричні дані зверху за допомогою виразу:

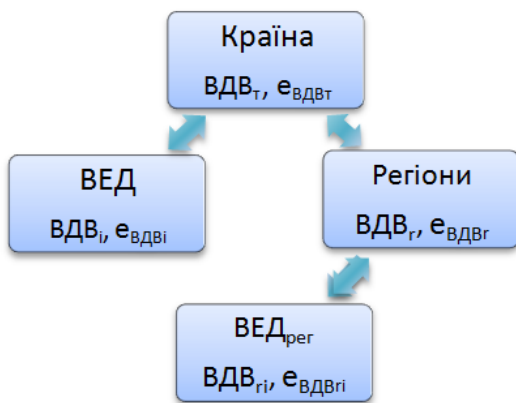
$$T_n = T(n) < B \cdot 2^n,$$

де T_n – час розрахунку коду довжиною n , B – константа, яку необхідно підібрати емпіричним шляхом.

- [1] Evdokimov V. Using GRID for Centralized Synthesis of FPGA-based Information Security Systems / V. Evdokimov, A Davydenko, S. Hilgurt // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2021) : Proceedings of the 15th International Conference, 21–24 Sept. 2021, Minsk: UIIP NASB, 2021. – pp. 115-118.
- [2] Винничук С.Д. Нижня оцінка максимального кодового розстояння для лінійних блокових кодів (n, k) над полем $GF(2)$ / С.Д. Винничук, А.Н. Давиденко, С.Я. Гильгурт, А.С. Потенко // Тез. доп. Міжнар. наук.-техн. конф. «Моделювання-2012». – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2012. – С.150-153.

ТРИЕТАПНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

Пропонується трьохрівнева модель прогнозування попиту на енергоресурси, зокрема на електричну енергію. Метою розробки нової моделі є підвищення точності та якості прогнозів завдяки комбінованому застосуванню різних методів. В трьохрівневій моделі використано подвійне узгодження прогнозів: між третім (види економічної діяльності у регіонах) і другим (регіони) рівнями та узгодження з верхнім рівнем (країна).



Досліджувані ієрархічні рівні економіки наступні: I рівень – макрорівень, країна; II рівень – мезорівень – види економічної діяльності в країні або економіка регіону, III рівень – мікрорівень – види економічної діяльності в регіоні. Розроблено модифіковану трьохрівневу модель, структура якої представлена на рис. 1

Рис. 1. Структура трьохрівневої моделі

енергоспоживання визначається за формулою [10]:

$$P'_{sTOP} = e_{ВДВs}^{\delta} V'_{ВДВs} - \Delta E'_s + P'_{нас} \quad (1)$$

де $e_{ВДВs}^{\delta}$ – енергоемність ВДВ країни у базовому році за s -ої структури економіки; $V'_{ВДВs}$ – прогноз валової доданої вартості країни (разом за ВЕД) у t -му році за s -ої структури економіки; $\Delta E'_s$ – обсяги зниження споживання енергоресурсів за структурних і технологічних змін (потенціал енергозбереження) у t -му році за s -ої структури економіки; $P'_{нас}$ – прогноз споживання енергоресурсів населенням.

Для II рівня – види економічної діяльності або регіони використовуються різні показники енергоефективності. Вибір варіанту цього рівня залежить від мети поставленої задачі та наявності вихідних даних для прогнозування.

Прогнозний попит для видів економічної діяльності визначається наступним чином:

$$\sum_i P_i^t = \sum_i e_{ВДВi}^{\delta} V_{ВДВi}^t - \Delta E_i^t \quad (2)$$

де $e_{ВДВi}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ i -ої у секції за КВЕД-2010 у базовому році за s -ої структури ВДВ країни; $V_{ВДВi}^t$ – прогноз валової доданої вартості i -ої у секції за КВЕД-2010 у t -му році за s -ої структури ВДВ країни; ΔE_i^t – обсяги зниження споживання енергоресурсів за структурних і технологічних змін (потенціал енергозбереження) у t -му році за s -ої структури ВДВ країни.

Для III рівня прогноз енергоспоживання для видів економічної діяльності регіонів визначається за загальною формулою:

$$P_r^t = \sum_i P_{ri}^t + P_{насr}^t \quad (3)$$

де крім приведених вище позначень, індекс ri – відноситься до виду економічної діяльності в регіоні за діючим класифікатором КВЕД-2010.

Прогнозне сумарне енергоспоживання за видами економічної діяльності (ВЕД) у регіоні визначається за формулою:

$$P_{ri}^t = \sum_i e_{ВДВri}^{\delta} V_{ВДВri}^t - \sum_i \Delta E_{ri}^t \quad (4)$$

де $e_{ВДВri}^{\delta}$ – енергоємність ВДВ i -го виду економічної діяльності в r -му регіоні у базовому році; $V_{ВДВri}^t$ – обсяг i -ої ВДВ у r -му регіоні у прогнозному році, що задається прогнозною структурою ВДВ; $\sum_i \Delta E_{ri}^t$ – сумарний прогнозний потенціал енергозбереження у t -му році по всіх i -их видах економічної діяльності у прогнозному році для економіки r -го регіону.

Представлена структура та модель дозволяє переходити від енергоспоживання за видами економічної діяльності по країні до відповідних рівнів у регіонах та навпаки. Модель є гнучкою та зручною при визначенні прогнозів.

Для перевірки достовірності результатів моделі, було зроблено порівняння прогнозу отриманого за представленою моделлю відносно базового року 2017 та фактичним значенням у 2020 р.. Результати порівняння наведені у табл. 1

Також було зроблено порівняння результатів отриманих на трьох ієрархічних рівнях, що наведені у табл. 2

Таблиця 1

Оцінка достовірності прогнозів споживання електричної енергії на 2020 р. відносно 2017 р., отриманих за триетапним методом, млн кВт·год

Показник	2017 р. факт	2020 р. прогноз	2020 р. факт	Похибка прогнозу, %
Сума по ВЕД	89568.4	97598.3	83888.6	16.4
Населення	35019.9	34189.5	36436.0	6.2
Разом	124588.3	131787.9	120324.6	9,5

Порівняння прогнозів споживання електроенергії на різних рівнях: TOP, DOWN і та DOWN r, млн кВт·год

Прогнозні показники за сценаріями I та II	2030		2040	
	I*	II**	I*	II**
Споживання електроенергії по країні з населенням (TOP), млн кВт·год	148015	128148	219082	181434
Споживання електричної енергії за сумою споживання за видами економічної діяльності та для населення (DOWN i), млн кВт·год	139607	119740	191006	153357
Споживання електричної енергії за сумою споживання за регіонами та для населення (DOWN r), млн кВт·год	147590	136714	218876	198328

Для відповідних ієрархічних рівнів розроблено трьохрівневу методику прогнозування енергоспоживання з урахуванням регіональних особливостей економіки, систему показників енергетичної ефективності. Запропонована модель дозволяє більш точно враховувати потенціал енергозбереження в соціально-економічній сфері України

- [1] Tianhe Sun, Tiejian Zhang, Yun Teng, Zhe Chen and Jiakun Fang. Monthly Electricity Consumption Forecasting Method Based on X12 and STL Decomposition Model in an Integrated Energy System. 2019. URL: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2019/9012543>. <https://doi.org/10.1155/2019/9012543>
- [2] Станиціна В.В., Богославська О.Ю. Удосконалений комплексний метод прогнозування енергоспоживання на довгострокову перспективу. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 3. С. 53—61. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/196383/196629>
- [3] Майстренко Н.Ю., Маляренко О.Є., Горський В.В. Триетапний метод прогнозування рівнів енергоспоживання в економіці з урахуванням регіональних потенціалів енергозбереження., Проблеми загальної енергетики. 2020. Вип. 3(62), С. 37—45. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2020.03.037>

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИСТУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Масштаб, частота та вплив інцидентів кібербезпеки зростають і становлять основну загрозу для функціонування мережевих, інформаційних, комунікаційних або технологічних систем, особливо з початком ведення ворогом повномасштабної збройної агресії проти України. Такі інциденти можуть перешкоджати здійсненню господарської діяльності, спричинити значні фінансові втрати, підірвати довіру користувачів та завдати значної шкоди економіці України.

Одним із чинників здатності держави забезпечувати захищеність власних ресурсів та активів в умовах політичної кризи та триваючої війни є спроможність забезпечувати кіберзахист власних інформаційних ресурсів, в тому числі тих, що належать до об'єктів критичної інформаційної інфраструктури (далі – ОКІІ). Серед інших до таких об'єктів належать підприємства енергетичної галузі, хімічної промисловості, промислові виробництва тощо. Тому кібербезпека критичної структури полягає насамперед в забезпеченні безпеки технологічних процесів від будь-яких несанкціонованих впливів інформаційного характеру, які створюють можливість некоректного виконання технологічних процесів.

Оснoву управління технологічними процесами виробничої діяльності становлять автоматизовані системи управління технологічними процесами (далі – АСУ ТП), що являють собою автоматизовані або автоматичні системи, які є сукупністю обладнання, засобів, комплексів та систем обробки, передачі та приймання, призначені для організаційного управління та/або управління технологічними процесами (включаючи промислове, електронне, комунікаційне обладнання, інші технічні та технологічні засоби) незалежно від наявності доступу системи до мережі Інтернет та/або інших глобальних мереж передачі даних [1].

Сьогодні для АСУ ТП найбільш актуальними є загрози збою, відмов та порушення режиму роботи, поширення шкідливого програмного забезпечення. Реалізація цих загроз безпосередньо пов'язана з хибними діями користувачів, випадковим доступом сторонніх осіб до систем, несанкціонованим підключенням пристроїв до автоматизованих робочих місць користувачів, а також до Інтернету.

Вирішення цих проблем зводиться до комплексу заходів з забезпечення інформаційної безпеки з урахуванням специфіки побудови та функціонування промислових інформаційно-комунікаційних мереж та систем.

АСУ ТП та інші автоматизовані, інформаційні, комунікаційні, інформаційно-комунікаційні систем, як потенційні ОКІІ об'єкта критичної інфраструктури (далі – ОКІ), повинні відповідати вимогам постанови

Кабінету Міністрів України від 19.06.2019 № 518 «Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури» (далі – постанова КМУ № 518). Кіберзахист ОКІ забезпечується шляхом впровадження на ОКІ комплексної системи захисту інформації (якщо на ОКІ не обробляються державні інформаційні ресурси або інформація з обмеженим доступом) або системи інформаційної безпеки (далі – СІБ) з підтвердженою відповідністю [2].

Необхідно зауважити, що вимоги постанови КМУ № 518 відповідають більшості вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 27001:2013 «Інформаційні технології. Методи захисту. Системи управління інформаційною безпекою. Вимоги». Зазначений стандарт є найкращою практикою із проектування, впровадження, підтримки та постійного вдосконалення системи управління інформаційною безпекою (далі – СУІБ) з урахуванням обставин організації, оскільки містить вимоги для оптимізації процесу захисту інформаційних ресурсів, а також оцінювання та оброблення ризиків інформаційної безпеки, пов'язаних з потребами організації.

Відповідно до вимог постанови КМУ № 518, створення СІБ ОКІ повинно здійснюватися відповідно до вимог технічного завдання на створення СІБ. Розробці такого технічного завдання передують оцінка ризиків на ОКІ. В якості методичної основи для оцінки ризиків ОКІ постанова КМУ № 518 пропонує стандарт ДСТУ ISO/IEC 27005:2019 «Інформаційні технології. Методи захисту. Управління ризиками інформаційної безпеки».

Таким чином, кіберзахист ОКІ має забезпечуватись шляхом створення та впровадження на його ОКІ СІБ, впровадження якої дозволить виконати більшу частину вимог до СУІБ, що відповідає вимогам стандартів серії ISO/IEC 27000.

Розробка та впровадження СІБ/СУІБ на ОКІ це певний перелік кроків, при яких власник організації/установи/підприємства (далі – організація) будь-якої форми власності має оцінювати і обробляти ризики інформаційної безпеки, а також, на підставі оцінки ризиків здійснювати вибір заходів щодо захисту ресурсів (тобто щодо оброблення ризику), в тому числі і державних інформаційних ресурсів, як тих, які є найбільш важливими активами організації [3].

В.В. Мохор, В.В. Цуркан та В.М. Безштанько у своїх працях зазначали, що відповідно до стандарту ISO/IEC 27005 для формування коректних та конструктивних вимог до побудови СУІБ важливим є наведення в зазначеному стандарті визначення ризику: «Ризик є комбінацією наслідків, що впливають із небажаної події, та ймовірності виникнення події». Зокрема, якщо така комбінація приймає мультиплікативну форму, то співвідношення для обчислення рівня ризику може бути записано наступному вигляді:

$$R = H \cdot p_p \quad (1)$$

де: R – рівень ризику, H – розмір втрат, p_p – імовірність реалізації загрози [4].

Зазначена формула оцінювання ризику є класичною та виконується за

двома факторами: імовірність реалізації загрози і розмір збитку (втрат).

Виникає питання, чи достатньою буде умова впровадження на ОКІ, на якому експлуатується АСУ ТП, СУІБ, яка побудована за класичними вимогами ідентичними до СУІБ, що захищає інформаційно-комунікаційну систему. Однозначно ні, адже АСУ ТП на відміну від інформаційно-комунікаційної системи є системою реального часу, в якій вимоги до часу реакції в аварійних ситуаціях є вкрай критичним, а затримка та втрата даних є неприйнятним, що формує свій, притаманний тільки АСУ ТП набір ризиків [5].

Можна висунути припущення, що для обох видів ОКІ (АСУ ТП та інформаційно-комунікаційна система) можуть бути притаманні групи/набори аналогічних ризиків, так і набори унікальних, специфічних ризиків. Відповідно процес оцінки ризиків інформаційної безпеки для проектування, впровадження, підтримки та постійного вдосконалення СУІБ на АСУ ТП повинен базуватися на більшій кількості параметрів.

Пропонується деталізувати класичну формулу оцінювання ризику та перейти на три фактори, а саме, імовірності реалізації загрози визначити формулою, яка враховує імовірність виникнення загрози та імовірність появи вразливості:

$$p_p = p_z \cdot p_v \quad (2)$$

де: p_p – імовірність реалізації загрози, p_z – імовірність виникнення загрози, p_v – імовірність появи вразливості. Відповідно:

$$R = H \cdot p_z \cdot p_v \quad (3)$$

- [1] Верховна Рада України. 7 сесія. (2017, жовт. 5). Закон № 2163-VIII, Про основні засади забезпечення кібербезпеки України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-viii>.
- [2] Кабінет Міністрів України. (2019, черв. 19). Постанова № 518 «Про затвердження Загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури» // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/518-2019-%D0%BF>.
- [3] Бакалинський О.О. Модель та методи визначення проектних характеристик систем управління інформаційною безпекою: монографія, Київ, Україна: ТОВ «Три К», 2020, ISBN: 978-966-7690-51-9.
- [4] В.В. Мохор, В.В. Цуркан, та О.О. Бакалинський “Геометрический подход к оцениванию вероятности приемлемых рисков информационной безопасности”, *Захист інформації*, т. 18, № 3, с. 210-217, 2016.
- [5] Bakalynskiy O., Pakholchenko D. (2021), “Analysis of cybersecurity requirements of automated process control systems as critical information infrastructure”, *Elektronnoemodirovanie*, Vol. 43, № 4, pp.103-112. DOI: 10.15407/emodel.43.04.103

Я.П. Лукашевич, В.А. Євдокімов

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ БАЗИ ДАНИХ ОБ'ЄКТІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ РОЗВИТКУ ТА МЕХАНІЗМІВ ПІДТРИМКИ ГАЛУЗИ

Згідно до законодавства України до відновлюваних джерел енергії відносяться сонячна енергія, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, біогазів [1]. За даними Державного агентства з енергоефективності загальна частка енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у валовому кінцевому енергоспоживанні, зростає з 4% у 2014 р. до 9,2%, у 2020 р. [2]. На сьогодні «зелена» енергетика в Україні нараховує вже 859 компаній та 1199 об'єктів енергетики. Їх встановлена потужність складає 6734 МВт, що становить 12% від встановлених електроенергетичних потужностей в енергосистемі України (станом на червень 2021 року) [3].

У новому Національному плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року [4], визначено індикативну ціль споживання енергії з відновлюваних джерел у 2030 році на рівні 27%. Таким чином, саме зараз, у період стрімкого розвитку галузі необхідні системи для зберігання і обробки даних, з метою використання їх у розробці моделей та методів розвитку «зеленої» енергетики для досягнення поставлених задач.

На сьогодні з відкритих джерел інформації щодо виробників з альтернативних джерел доступний реєстр виробників за «зеленим тарифом» на електронному ресурсі ДП «Гарантований покупець» [5].

Реєстр доступний у PDF-форматі, містить неповні такі дані про об'єкти енергетики (назва, назва суб'єкта, код ЄДРПОУ суб'єкта, розмір «зеленого» тарифу), які входять в балансуєчу групу гарантованого покупця, як показано на рис. 1.

966		ТОВ "ТЕК ТИВІУ БІСНАС ВІС"	42025143		01.02.2021
62W2026754069N	TYLEULSKAWP	TYLEK TYLEULSKA Wind Power Plant	42025173	271,46	62X89466780941
967		ФІРМА ОСВАРДЕРЖИЧІВІЦЬКА ІНЖЕНЕРИНО-ПРОЄКТНО-МОНТАЖНА	1982718096		03.02.2022
62W20167822960J	VANTSALOV_PSPF	VANTSALOVSKIY Photovoltaic Solar Power Plant	1982718096	355,49	62X923433879344Y
968		ТОВ "ДОНІС ЕК"	43777797		01.02.2022
62W0685821215A	DRONSBGP	DRONSB Energy Power Plant	43777797	381,18	62X87511920802L
969		ТОВ "САМОКОНТРЕХТЕХНІКА"	22510405		10.02.2022
62W20006256211F	SRT_PVSP	SILGOSPRIMTEKHNIKA Photovoltaic Solar Power Plant	22510405	126,40	62X716498809048
970		ТОВ "ІНІРАТ ЕК"	42864203		23.03.2022
62W15490645492I	ZAPSONCAPVSP	ZAPSON-2 Photovoltaic Solar Power Plant IPS	42864203	126,40	62X786312167153L

Рис. 1 Реєстр виробників за «зеленим» тарифом на сайті ДП «Гарантований покупець»

Також на ресурсі гарантованого покупця міститься погодинна інформація фактичного відпуску електричної енергії в розрізі джерел. Проте в цьому наборі даних відсутня інформація суб'єкти «зеленої» енергетики, з якими ДП «Гарантований покупець» не співпрацює (в тому числі і приватних домогосподарств, які продають надлишки «зеленої» електроенергії в постачальникам універсальних послуг).

Додатково існує сервіс Energy Map [6], що акумулює офіційні бази даних про всі сектори енергетики України, перетворює їх у зручний для аналізу формат та дозволяє відстежувати і вчасно реагувати на зміни у галузі. Користувачський інтерфейс зображено на рис. 2.

The screenshot shows the Energy Map website interface. The main content area is titled "Виробництво "зеленої" енергії у розрізі об'єктів та розмір "зелених" тарифів". Below the title, there is a text block providing information about the data, including a note that the data is updated as of January 1, 2021. Below the text, there is a table with the following data:

Дата оновлення	Період охоплення	Розпорядники	Джерела	Більше
11 лютого 2022 р. 10:38	01.01.2017 - 31.12.2021	НКРЕКП	посилання	Показати

Below the table, there are buttons for "Завантажити" (Download) and "Стежити" (Track). There is also a "Файли" (Files) dropdown menu. On the left side, there is a sidebar with navigation options like "Дашборди", "Набори даних", "Дані", "Аналітика", "Ланцюжки", "Новини", "Підписки", and "Опис API". At the bottom left, there is a note about registration and contact information for Yana.Lukashevych@gmail.com.

Рис. 2 Дані про об'єкти «зеленої» енергетики на ресурсі Energy Map

Сервіс містить інформацію про назву та місце розташування об'єктів «зеленої» енергетики, тип електростанцій, назву та код ЄДРПОУ компаній, розмір «зеленого» тарифу та дату його встановлення. Однак інформація є неповною та потребує уточнення та доповнення.

Детальна інформація про об'єкти зеленої енергетики міститься на ресурсі ENERGO.UA [7]. Додатково платформа містить дані щодо встановленої потужності об'єктів та місячного фактичного відпуску суб'єктів енергетики. Проте інформація неструктурована, потребує попереднього збору та верифікації. На рис. 3 показаний приклад інформації про об'єкт альтернативної енергетики ТОВ «ДТЕК Ботієвська ВЕС».

Таким чином, на сьогодні немає доступних повних та структурованих інформаційних баз виробників з альтернативних джерел в Україні. Для аналізу галузі необхідно попередньо провести збір даних з різних джерел, верифікувати та структурувати отриману інформацію. Це доволі складний та об'ємний процес, що потребує людських та часових ресурсів. Тому актуальною і важливою є задача з розробки такої системи накопичення, зберігання і обробки інформації про об'єкти альтернативної енергетики з метою глибокого аналізу галузі та розробки моделей і методів для

забезпечення створення механізмів підтримки розвитку альтернативної енергетики.

The screenshot shows the ENERGO.UA website interface. At the top, there is a navigation bar with the ENERGO.UA logo and menu items: ОБ'ЄКТИ ВДЕ, КОМПАНІЇ, ОБЛАДНАННЯ, ПРО ENERGO.UA, and UA. Below the navigation bar, the page title is ТОВ «ДТЕК БОТІЄВСЬКА ВЕС». The main content area is titled 'Опис компанії' and contains the following information:

- Компанія ТОВ «ДТЕК БОТІЄВСЬКА ВЕС»** є учасником українського ринку відновленої енергетики з 2012 року в ролі незалежного виробника електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Під управлінням компанії 1 вітроелектростанція (ВЕС) в Запорізькій області, потужністю 199.88 МВт, введена в експлуатацію в 2015 році.
- Електроенергію, вироблену компанією ТОВ «ДТЕК БОТІЄВСЬКА ВЕС» викуповує Гарантований покупець за зеленим тарифом. За підсумками 2020 р на електростанції компанії вироблено 607.75 млн. кВт-год. "зеленої" електроенергії.
- Повна назва компанії:** ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ДТЕК БОТІЄВСЬКА ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ»
- Код ЄГРПОУ:** 36168821
- Дата реєстрації:** 2008-10-16
- Дата ліцензії:** 2012-12-06
- Контактна інформація:** перевірити на **CONTRA**
- Уповноважена особа:** Жуков Геннадій Олександрович
- Власники компанії:** 100% Дтек Реньюеблз Б.В. (Dtek Renewables B.V.)

Рис. 3 Дані про об'єкти «зеленої» енергетики на ресурсі ENERGO.UA

Із розвитком науки і технологій виникає необхідність у зміні способів зберігання, обробки і передачі знань. На сучасному етапі розвитку інформаційні ресурси відіграють не менш важливу роль, ніж природні, матеріальні, фінансові, трудові і інші види ресурсів.

Бази даних (БД) призначені для зберігання різного роду інформації.

Мета створення бази даних – це систематизація наявної інформації про виробників з альтернативних джерел електроенергії для її подальшої обробки і використання у вирішенні наукових і практичних задач. Предметна область – об'єкти «зеленої» енергетики. Потенційні користувачі – виробники з альтернативних джерел (для визначення та аналізу ринку й вирішення інших задач у своїй діяльності), оператори системи розподілу і передач (для зниження ризиків системних обмежень, ефективного балансування тощо), інші учасники ринку електричної енергії для використання даних у своїй бізнес-діяльності та прийнятті рішень.

Такий структурований набір даних можна використовувати у побудові моделей та методів для розв'язання різних практичних та наукових задач.

Зокрема актуальними для дослідження та вивчення є наступні питання: аналіз та візуалізація стану розвитку відновлювальної енергетики в державі

та в регіонах, застосування отриманих результатів у бізнес-діяльності зацікавлених суб'єктів господарювання; виявлення динаміки та інтенсивності розвитку «зеленої» енергетики у різних областях; виявлення регіонів зі значним домінуванням сонячних та вітряних станцій для передбачення можливих проблем з балансуванням та запровадити шляхи їх вирішення; встановлення залежності між зміною структури споживання від зміни структури виробництва електричної енергії ВАД, зокрема з метою зниження ризиків системних обмежень та операційної безпеки; визначення потенційних шляхів розвитку ВДЕ в залежності від регіону; вдосконалення існуючих механізмів підтримки «зеленої» енергетики та запровадження нових (наприклад стимулювання будівництва нових станцій для тих областей, де виробництва електричної енергії недостатньо); створення і розробка нових методів прогнозування; вивчити можливості і перспективи запровадження Smart-договорів; виявлення перспектив розвитку ВДЕ в рамках приєднання України до енергосистеми континентальної Європи ENTSO-E; оцінка наслідків військового вторгнення Росії в Україну для відновлювальної енергетики та визначення шляхів їх подолання.

Проведене дослідження показало, що існуючі набори даних про об'єкти альтернативної енергетики є неповними та потребують додаткової обробки і уточнення. Отже задача створення бази даних, що буде містити повний і коректний набір інформації, є перспективною і потребує подальших досліджень. Розв'язання цієї проблеми та глибокий аналіз галузі в подальшому сприятимуть розв'язанню важливих наукових і практичних задач, що забезпечить збалансований розвитку альтернативної енергетики в Україні та зменшенню фінансових витратків держави на підтримку ВДЕ.

- [1] Закон України Про альтернативні джерела енергії. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 10.04.2022)
- [2] Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saec.gov.ua/uk/news/4087> (дата звернення: 10.04.2022)
- [3] Встановлена потужність енергосистеми України. URL: <https://ua.energy/vstanovlena-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny> (дата звернення: 01.05.2021).
- [4] Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.04.2022)
- [5] Офіційний сайт Державного підприємства «Гарантований покупець». URL: https://www.gpcc.com.ua/get_document/83 (дата звернення: 10.04.2022)
- [6] Energy Map. Виробництво «зеленої» енергії у розрізі об'єктів та розмір «зелених» тарифів. URL: <https://map.ua-energy.org/uk/resources/990b4e24-83ad-4f4e-9a0f-e9f5b01f6051/> (дата звернення: 10.04.2022)
- [7] ПЛАТФОРМА ENERGO.UA. URL: <https://www.energo.ua/> (дата звернення: 10.04.2022)

ВАЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПОПИТУ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД» В ПРОЦЕСІ МОДЕЛЮВАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНОВОЇ ПОЗИЦІЇ НА ПРОДАЖ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Ринок «на добу наперед» (РДН) — це торговельна площадка, на якій учасники ринку купують та продають електроенергію за визначеними цінами за добу до доби постачання. Цей ринок визначає фінансові зобов'язання щодо купівлі-продажу електричної енергії, які розраховуються оператором ринку щодня відповідно до поданих заявок на продаж та купівлю учасниками ринку. Заявки на пропозицію або попит визначають ціну на РДН.

Актуальність дослідження обумовлена значним впливом обсягів попиту на ціну купівлі-продажу на РДН. Ураховуючи мінливість обсягів на купівлю, особливо в залежності від доби тижня, невірною обраною ціновою стратегією може вартувати учаснику ринку втрачених грошей через непродаж або недоотриманого доходу (втрачена вигода) через реалізацію за низькими цінами.

Авторами запропоновано розділити проблему визначення попиту на 3 частини.

1. Вплив довгострокових двосторонніх контрактів, купівля-продаж за двосторонніми договорами, наприклад, на ТОВ «Українська енергетична біржа» - акредитований майданчик торгівлі на аукціонах електричної енергії за двосторонніми договорами.

На рисунках 1 та 2 відображена зміна попиту на РДН до початку продажу за двостороннім договором великим учасником ринку та після у результаті проведення аукціону для послідовних діб постачання.

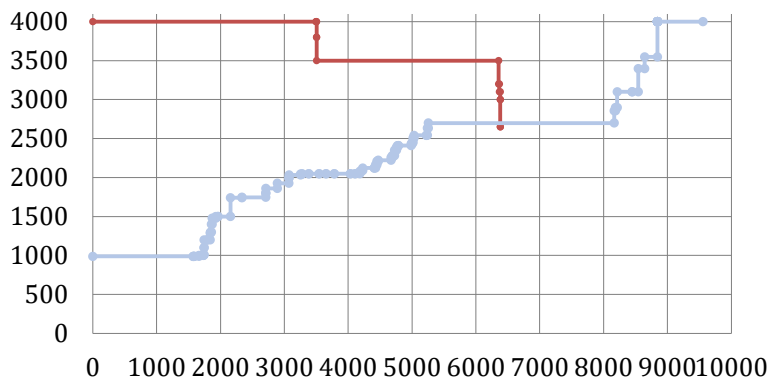


Рисунок 1. Криві попиту і пропозиції до початку продажу за двостороннім договором

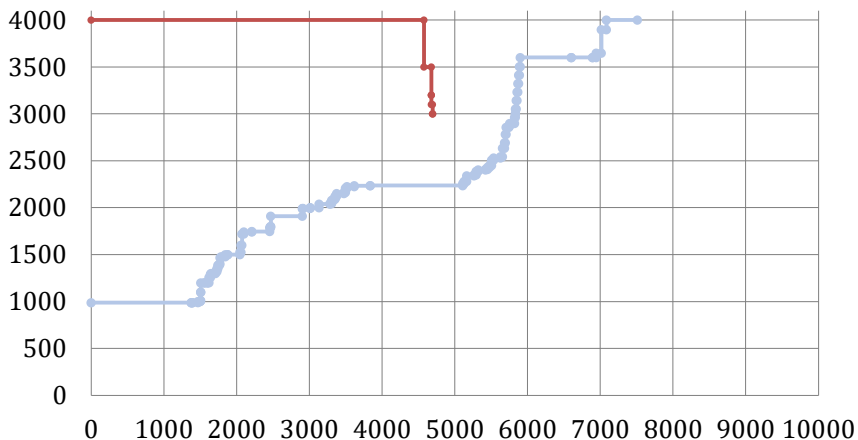


Рисунок 2. Криві попиту і пропозиції після початку продажу за двостороннім договором

Як видно з рисунків, для години постачання відбулося значне зменшення обсягів як попиту, так і пропозиції, через що відбулося зниження ціни р 2 700 грн/МВт*год до 2 234,93 грн/МВт*год.

2. Сезонність пори року. Так, у зимові місяці попит на електричну енергію більший, ніж в осінній період через необхідність електричного опалення, додаткових витрат на електричну енергію за умов холодної температури. У той же час, у літні місяці попит менший, ніж у зимові, але більший, ніж в осінні – через застосування, наприклад, кондиціонерів для охолодження приміщень тощо.

У таблиці 1 наведено добові значення попиту на РДН в залежності від пори року для одного і того ж дня тижня.

Таблиця 1.

Добові значення попиту на РДН в залежності від пори року

Місяць	Обсяг попиту, МВт*год	Динаміка зміни, МВт*год
Січень	180 709,8	-
Квітень	95 071,0	-85 638,8
Липень	75 106,1	-19 964,9
Жовтень	66 835,4	-8 270,7

3. Доба тижня. Для попиту типовим є залежність від доби тижня. Зазвичай, найбільший вплив має попит постачальників електричної енергії споживачам. У суботу та неділю наявна тенденція значного зниження попиту через звичайну специфіку роботи підприємств - вихідні дні. Окрім цього, у вихідні дні населення може відвідувати різні заходи, наприклад – відпочинок на природі літом. Таким чином, відбувається значне зниження споживання

електричної енергії. У понеділок споживання значно виростає і зазвичай підвищується до середини тижня. На рисунку 3 відображено типову зміну попиту протягом тижня.

Динаміка зміни обсягів попиту на РДН протягом тижня,
МВт*год

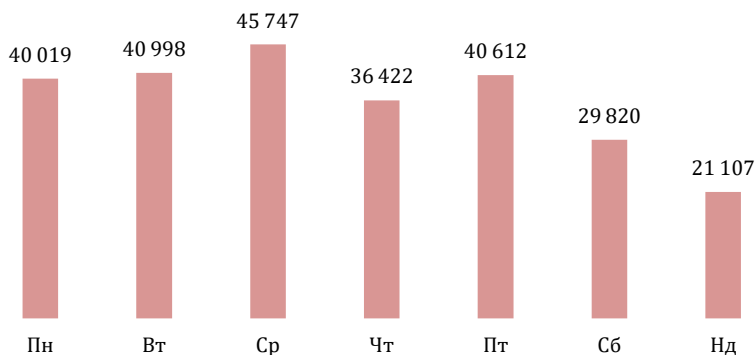


Рисунок 3. Динаміка зміни обсягів попиту на РДН протягом тижня

Проведені дослідження відображують необхідність мати учасникам ринку прогноз обсягів попиту щонайменше у короткостроковій перспективі, адже це надасть таким суб'єктам конкурентну перевагу перед іншими конкурентами. Ураховуючи зазначене, оптимальне вирішення задачі прогнозування попиту є вкрай важливим в процесі комп'ютерного моделювання процесів визначення цінової позиції суб'єктів ринку електричної енергії для оптимізації своєї торгової стратегії на ринку електричної енергії [1].

- [1] Полухін А.В. Комп'ютерне моделювання процесів визначення цінової позиції суб'єктів ринку електричної енергії на ринку «на добу наперед». XXXIX Науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України: тези доп.всесукр. наук.-практ. конф.(м. Київ, 12 трав. 2021). Київ, 2021. С. 106-107.

В.В. Мохор, О.В. Цуркан, Р.П. Герасимов, В.П. Яшенков, Т.М. Клименко

ВІДНОШЕННЯ МІЖ ЕКТОРАМИ ВПЛИВУ СОЦІАЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ НА БЕЗПЕКУ СОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Відповідно до [1] множина екторів впливу соціальної інженерії на безпеку соціотехнічних систем задається шляхом об'єднання користувачів, соціальних інженерів, маніпулятивних форм. Кожну з них виокремлено з огляду на специфіку означеної діяльності [1, 2]. Зокрема, формування у користувача «нової» моделі поведінки внаслідок маніпулювання соціальним інженером його слабкостями, потребами, маніями (пристрастями), захопленнями. Тому встановлення відношень між екторами впливу соціальної інженерії на безпеку соціотехнічних систем є актуальним.

Встановленню відношень між екторами впливу соціальної інженерії передуює задання їх множини [1–4]

$$V = \bigcup_i v_i, \quad (1)$$

де: V – множина екторів впливу соціальної інженерії; v_i – ектор, наприклад: користувач, соціальний інженер, свідомість, обман, шахрайство.

Задання (1) дозволяє відобразити відношення між екторами впливу соціальної інженерії упорядкованою парою (v_i, v_j) [2]. Такі пари отримуються знаходженням декартового добутку множини V

$$V \times V = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V\}. \quad (2)$$

Прикладами елементів (2) можуть бути: соціальний інженер – користувач, соціальний інженер – обман. У даному випадку обман виокремлюється як маніпулятивна форма користувачем соціотехнічної системи.

Отже, встановлення відношень між екторами впливу соціальної інженерії дозволить виявляти вірогідні сценарії реалізування загроз безпеці соціотехнічних систем і, як наслідок, насамперед проактивно реагувати на них.

- [1] Герасимов Р., Крук О., Цуркан О., Яшенков В. Метод аналізування уразливостей соціотехнічних систем до впливів соціальної інженерії. *Information Technology and Security*. 2020. Vol. 8, Iss. 1. P. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2020.8.1.218001>.
- [2] Mokhor V., Herasymov R., Kruk O., Tsurkan O., Yashenkov V. Social engineering influence actors set formation. Інформаційні технології та безпека : матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 9 грудня 2021 р. Київ, 2021. С. 221–222.
- [3] Wasserman S., Faust K. *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge : Cambridge University Press, 2012. 857 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
- [4] Moderson J.N., Nair P.S. *Fuzzy Graphs and Fuzzy Hypergraphs*. Heidelberg, Germany: Physica-Verlag Heidelberg, 2000. 250 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1854-3>.

Ю.О. Кириленко, І.П. Каменева, В.О. Артемчук,
О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач

МОДЕЛЮВАННЯ АТМОСФЕРНОЇ ДИСПЕРСІЇ ТА ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНИХ НАСЛІДКІВ ПОДІЙ З РОЗЛИВОМ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

Вступ. Сучасні системи підтримки прийняття рішень та інші програмні засоби все частіше використовуються як в контексті аналізу безпеки підприємств, щовикористовують радіаційні технології, так і для забезпечення аварійної готовності та реагування на надзвичайні ситуації, пов'язані з викидами та скидами радіоактивних речовин в навколишнє середовище.

Так, частина спеціального програмного пакету програми Radiation Protection Computer Code Analysis and Maintenance Program (RAMP), зокрема, такий інструмент оцінки як RADTRAN, наразі активно застосовуються для моделювання планових операцій з радіоактивними матеріалами та при надзвичайних ситуацій під час транспортування радіоактивних матеріалів.

Насьогодні нормативні документи України та стандарти експлуатуючих організацій [1]-[4] формують верховну критеріальну базу та інструментарій для проведення аналізу безпеки.

Одним зі основних документів, що встановлює норми безпеки, які забезпечують прийнятний рівень контролю за радіаційною, а також пов'язаною з критичністю і тепловиділенням, небезпекою для персоналу, майна і навколишнього середовища при перевезенні радіоактивних матеріалів є Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006) [3]. Ці правила також вимагають забезпечення проведення відповідних оцінок щодо аналізу безпеки перевезення радіоактивних матеріалів.

Проте, слід зауважити, що події транспортного характеру не є єдиним джерелом небезпек. У світлі проведення аналізу подій із розливами рідких радіоактивних середовищ на промислових майданчиках підприємств атомної галузі [2], питання потенційного опромінення персоналу, населення та масштабів забруднення навколишнього середовища потребують додаткових досліджень.

Одноєю із груп сценаріїв перебігу вишенаведених подій можуть розглядатися розливи рідких радіоактивних середовищ на відкритій місцевості.

Європейський досвід. Розливи радіоактивних рідин в умовах атмосферного повітря принципово відрізняються моделями опису джерела викиду у випадку перебігу процесів випаровування в замкнених приміщеннях та викидів із сопел та висотких труб на промайданчиках. Проте, для безпосереднього моделювання атмосферної дисперсії можуть бути застосовані стандартні програмні пакети, що включають гаусову або лагранжеву моделі локального переносу з додатковими блоками моделювання осадження та

оцінки доз опромінення.

Одним із представників таких систем підтримки прийняття рішень є європейська система JRODOS (KIT), яка на сьогодні дозволяє отримувати як детерміновані значення приземних концентрацій радіоактивних речовин в атмосфері, оцінити осадження на поверхню ґрунта в моделі DEPOM, так і імовірнісні розподіли цих параметрів за відстанями від джерела викиду. Система включає ряд атмосферних моделей, що дають можливість проводити моделювання руху радіоактивної хмари та атмосферної дисперсії у різних просторових та часових масштабах. В той же час, на базі відомих поверхневих та об'ємних концентрацій за допомогою модулю FDMT дана система дозволяє оцінити довгострокові дози опромінення населення, що проживає на прилеглих до зони події територіях (рис. 1, 2).

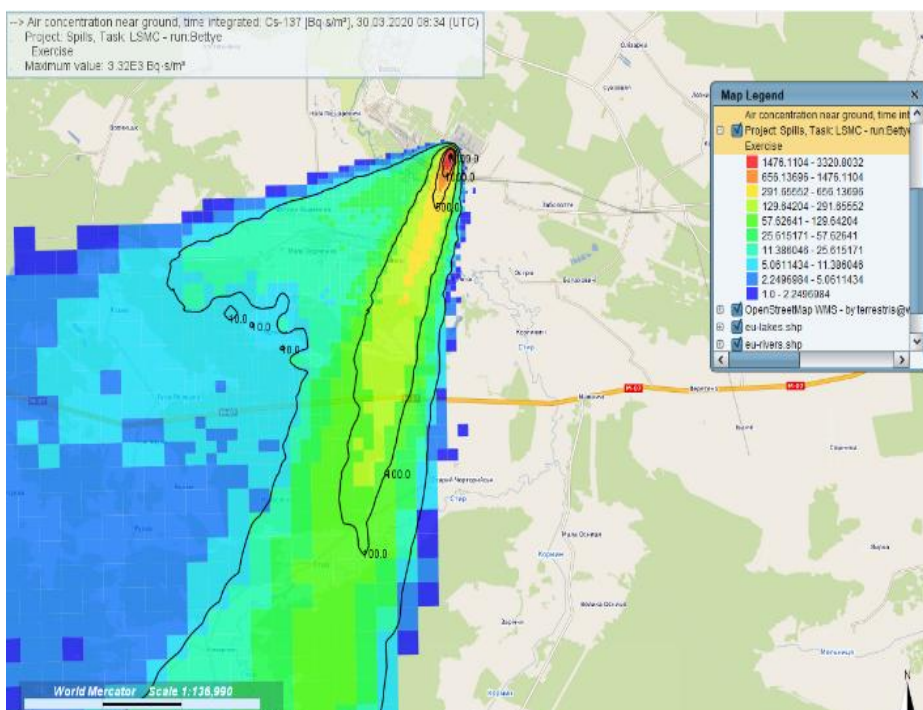


Рисунок 1 – Результати моделювання атмосферної дисперсії в системі JRODOS: інтегральна концентрація ^{137}Cs в приземному шарі повітря

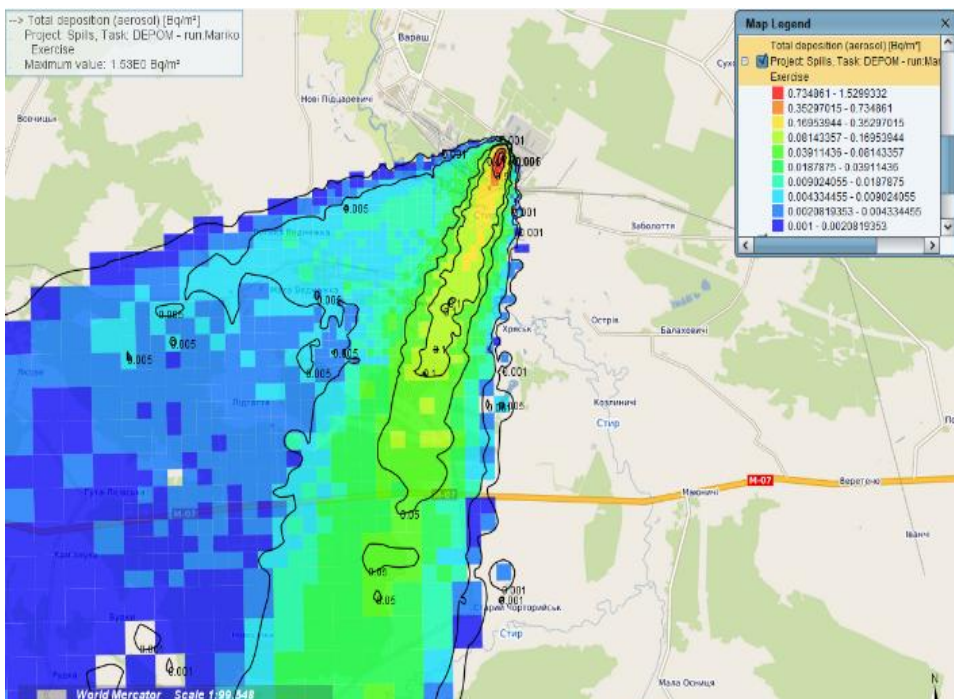


Рисунок 2 – Результати моделювання в системі JRODOS: сумарні випадіння аерозолів в моделі DEPOM

Розрахунковий інструментарій США. Програмний продукт NRC Radioactive Material Transport (NRC-RADTRAN) використовується для аналізу ризиків і наслідків перевезення радіоактивних матеріалів. Перевезення широкого спектру радіоактивних матеріалів здійснюються сухопутними видами транспорту (переважно автомобільним і залізничним), морськими судами та літаками. Транспортні працівники та особи, які проживають поблизу цих вантажів або мають спільні транспортні сполучення з цими вантажами, можуть піддаватися радіологічного впливу під час звичайних транспортних операцій; опромінення також може статися в результаті надзвичайних ситуацій різноманітного характеру. У центрі уваги коду NRC-RADTRAN є ризики та наслідки, пов'язані з таким впливом.

Програмний продукт HotSpot v.3.1 використовує гнучкий інтерфейс опису геометрії джерела атмосферного викиду, що є принциповим завданням при моделюванні розливів рідких радіоактивних середовищ на відкритих місцевостях. Реалізація віртуального джерела викиду в данному продукті дозволяє описати різноманітну конфігурацію джерел.

Більш детальний опис моделей формування джерела викиду представлений в роботах [5], [6].

Атмосферна дисперсія та оцінка доз опромінення. В практиці моделювання наземних викидів зазвичай використовують модель точкового джерела та спрощені гаусові моделі переносу з типовою параметризацією атмосферної дисперсії за Паскуїлом. Проте, в умовах викиду з низьких труб або поверхневих джерел на відкритій місцевості рекомендується враховувати ефект аеродинамічного затінення від розташованих поряд будівель на промайданчику. В методі покращеної оцінки застосовуються CFD/LES-моделювання. Слід зазначити, що прецизійні моделі такого типу не використовують для аналітичного обґрунтування безпеки АЕС України.

Під час аналізу наслідків подій розливів рідких радіоактивних речовин перевага у виборі моделі надається згідно з трьома головними критеріями, що характерні для масштабів події:

- роздільна здатність (мінімального розміру комірки розрахункової сітки),
- врахування ефектів аеродинамічного затінення джерела викиду на відстанях до 10 км,
- маневреність введення метеорологічних даних.

Аналітично ефект аеродинамічного затінення від поблизу розташованих будівель враховується поправкою на початкові розміри радіоактивної хмари, які, зі свого боку, тісно пов'язані із початковими параметрами дисперсії моделі атмосферного переносу.

Результати моделювання джерела викиду можуть бути використані як вихідні дані для подальшого моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування доз опромінення для подій, пов'язаних з розливом рідких радіоактивних середовищ.

Оцінка доз опромінення населення проводиться після отримання розподілів концентрацій радіонуклідів в повітрі та у випадіннях на поверхню ґрунту. В міжнародній практиці використовуються різні пакети розрахункових радіонуклідів та бази даних щодо коефіцієнтів переходу «концентрація-доза». Також, можна зустріти відмінності у шляхах опромінення тариферентних групах осіб, які піддаються опроміненню.

Висновки. З метою інтеграції в сучасні програмні засоби, зокрема системи підтримки прийняття рішень, розроблюються та досліджуються чимало математичних моделей формування викиду при подіях, які супроводжуються розливом рідких радіоактивних речовин. Ці моделі допомагають відтворити динамічну картину щодо концентрацій радіонуклідів в повітрі, випадіннях та дозволяють провести комплексний вплив на населення та навколишнє середовище.

Розглянуто низку широквикористовуваних інструментів моделювання для групи подій, що пов'язана з розливом рідких радіоактивних середовищ. Результати моделювання характеристик джерела викиду запропоновано використовувати як вихідні дані для подальшого моделювання атмосферної дисперсії та прогнозування доз опромінення.

Аналіз особливостей застосування моделі джерела викиду підтверджує, що розробки моделей джерел викиду є ефективним інструментом для надання вихідних даних, необхідних для розрахунків радіаційних наслідків в системах підтримки прийняття рішень та інших програмних засобах.

- [1] Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Затверджено МОЗ Наказом №208 від 14 липня 1997р.
- [2] Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Затверджено МОЗ Наказом №116 від 12 липня 2000 р.
- [3] Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005)
- [4] Перечень разрешенных к использованию в ГП "НАЭК "Энергоатом" расчетных кодов для обоснования безопасности ядерных установок по состоянию на 01 февраля 2018 г. (введено в дію розпорядженням ДП НАЕК "Енергоатом" №137-р від 05.02.2018 р.);
- [5] Kyrylenko Y., Kameneva I., Popov O., Iatsyshyn A., Matvieieva I., Bliznyuk V., Molitor N. Source Term Model of Radioactive Liquid Spills for Actual Decision Support Systems. E3S Web of Conferences 280, 09001 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128009001>
- [6] Kyrylenko Y., Kameneva I., Popov O., Iatsyshyn A., Artemchuk V., Kovach V. (2022) Actual Issues on Radiological Assessment for Events with Liquid Radioactive Materials Spills. Studies in Systems, Decision and Control, vol 399, 139–156. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87675-3_8

ОГЛЯД НЕФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Критично важливі для безпеки системи або системи критичного призначення (СКП) оточують нас усюди і є програмними системами, збій або несправність яких може призвести до небажаних наслідків.

Розробка СКП з точки зору безпеки – дуже ретельний і складний процес (немає права на помилку), який вимагає більше часу та фінансів, ніж розроблення типової системи.

Перш ніж розроблювати СКП, до неї висуваються і конкретизуються вимоги (правильні, повні, несуперечливі та недвозначні), які в подальшому будуть трансформовані в її характеристики. Вимоги, що висуваються до системи встановлює замовник, а характеристики набуваються в процесі її розроблення.

Кожна система має свої характеристики, зокрема, функціональні та нефункціональні [1]. Функціональні характеристики описують, що робить система, її особливості та функції, а нефункціональні – описують загальні властивості системи, тобто, визначають набір якісних атрибутів для задоволення потреб замовника. Ці характеристики, також, відомі як атрибути якості. Різні джерела інформації [2], [3] використовують різну термінологію щодо опису нефункціональних характеристик, але, тим не менш, ці визначення охоплюють один і той же елемент – характеристики, які описують експлуатаційні якості, а не поведінку системи [4].

У будь-якій системі нефункціональних характеристик можна виокремити чимало. Зазвичай виокремлюють такі характеристики:

- продуктивність – визначає, наскільки швидко програмна система або її окремі елементи реагують на дії певних користувачів під певним робочим навантаженням;
- масштабованість – оцінює, наскільки зміниться продуктивність у разі підвищення робочого навантаження;
- портативність – характеризує обладнання та середовище, в якому працює система;
- сумісність – показує, чи конфліктує система з іншими програмами, системами та процесами;
- функційна безпечність – визначає, наскільки імовірно, що система або її елементи працюватимуть без збоїв впродовж певного періоду часу за попередньо визначених умов або як часто система зазнає критичних збоїв;
- доступність – описує, наскільки ймовірно, що система доступна для користувача в певний момент часу;
- безпека – показує, наскільки система та її дані захищені від атак, а також гарантує, що всі дані всередині системи або її частини будуть захищені від несанкціонованого доступу;

- локалізація – показує, чи відповідає система місцевим особливостям;
- зручність використання – показує, наскільки легко/важко користуватися системою.

Зазвичай, нефункціональні характеристики системи перевіряються методами імітаційного моделювання та/або шляхом тестування. Враховуючи, що нефункціональні характеристики системи можуть змінюватися під час її розроблення, такий підхід має недоліки. Проте, для того, щоб у результаті розроблення мати систему із запланованим рівнем функційної безпечності, більшість з цих нефункціональних характеристик мають бути визначені (задокументовані рівні успіху та невдачі) ще до початку розроблення системи – шляхом встановлення нефункціональних (якісних) вимог до неї та визначення одиниць вимірювання і методів, якими буде здійснюватися їх перевірка, а також контролюватись під час усього процесу розроблення системи.

- [1] Шкарупило В. В. Сценарії, методи та засоби формальної верифікації артефактів процесу проектування систем критичного призначення : монографія / В. В. Шкарупило, І.В. Блінов. — Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 104 с.
- [2] ДСТУ ISO/IEC 25000:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Настанова до SQuaRE (ISO/IEC 25000:2014, IDT).
- [3] Eenoo, C. V., Hyllooz, O., Khan, K. M. Addressing Non-Functional Properties in Software Architecture using ADL Proceedings of the 6th Australian Workshop on Software and System Architectures March 29, 2005, Bris-bane, Australia, P. 6–13.
- [4] Espinoza H. et al. Annotating UML Models with Non-functional Properties for Quantitative Analysis. In: Bruel, JM. (eds) Satellite Events at the MoDELS 2005 Conference. MODELS 2005. Lecture Notes in Computer Science, 2006, Vol. 3844, Berlin, Heidelberg: Springer, P. 79–90. DOI: https://doi.org/10.1007/11663430_9

ПОБУДОВА МНМОСХЕМИ ПРИ АВТОМАТИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ СТРУКТУРНИХ ДАНИХ МОДЕЛІ РЕЖИМУ

Існуючі технології побудови тренажерів оперативного перемикавання припускають виконання розробки мнемосхеми у вигляді малюнка як складової робочого місця диспетчера і окремо підготовку даних для налаштування моделі об'єкта управління. Доцільно поєднати ці два процеси. Розглянуто варіант автоматичного налаштування введення даних такої моделі в процесі побудови мнемосхеми з бібліотечних компонентів.

Головною перевагою автоматичного налаштування даних є присвоєння структурних параметрів за допомогою програмного коду, котрий автоматично присвоює структурні параметри компонентам. У ручному варіанті введення даних структурні параметри записуються у вікні графічного редактору Flash “Властивості”. Дане вікно для кожного екземпляра бібліотечних компонентів. Проте, під час заповнення структурних параметрів непрограмуєчий спеціаліст може допустити помилку. Помилка під час заповнення структурних параметрів призводить до того що модель не працює. Так як зазвичай моделі мнемосхем мають велику кількість активних елементів, виникає проблема знаходження екземпляру з невірно записаним структурним параметром. Тому автоматичне налаштування підготовки даних нівелює фактор людської помилки.

Процес побудови моделі мнемосхеми показано на рис. 1. Візуальне відображення (специфікація) цього процесу створено за допомогою програми Bizagi, на основі стандарту BPMN[1]. З цього стандарту використано такі компоненти:

- *Об'єкт даних* – масив даних;
- *Початок* – початок процесу побудови мнемосхеми;
- *Задача користувача* – задача котра виконується розробником тренувального завдання;
- *Розвилка “і/або”* – розвилка з умовою. В залежності від виконання умови залежить розгалуження процесу;
- *Завершення з відправкою повідомлення*;
- *Старт по отриманню повідомлення*;
- *Завершення* – завершення процесу побудови мнемосхеми.

Розробник тренажерного заняття при побудові моделі мнемосхеми поступово додає з бібліотеки компонентів потрібні екземпляри компонентів. Доданий екземпляр заноситься у список посилань на екземпляри компонентів. Також для нього потрібно задати технологічні параметри (значення провідностей, коефіцієнтів трансформації та ін.), які заносяться в створену мнемосхему. Після розміщення всіх екземплярів мнемосхеми і задання для них технологічних параметрів наступним етапом є розміщення екземплярів структурного компоненту «Зв'язок»[2]. Після цього розробник

тренажерного заняття запускає програму. Після запуску програми компонентам автоматично присвоюються структурні параметри. Структурні параметри присвоюються у 3 цикла. В першому циклі присвоюються номери вузлів і номери вузлів трансформаторів. У другому циклі визначається індекси для гілок і ліній, а також номери для навантаження вузла. В останньому циклі визначається:

- індекси для роз'єднувачів, вимикачів;
- індекси і напрям стрілки струму;
- номери або індекси для екземплярів виводу значень напруги або струму.

При автоматичній підготовці даних крім наповнення масиву посилань на екземпляри компонент потрібне формування списку суміжності вузлів. Підготовка цих даних виконується, як і підготовка структурних параметрів, виконується без участі розробника тренажерного завдання при запуску програми. Потім виконується запуск моделі, яка використовуючи підготовлені параметри виконує розрахунок і відображення токів і напруг в мережі відповідної до розробленій мнемосхеми. При перемиканні вимикачів або роз'єднувачів виконується нове моделювання.

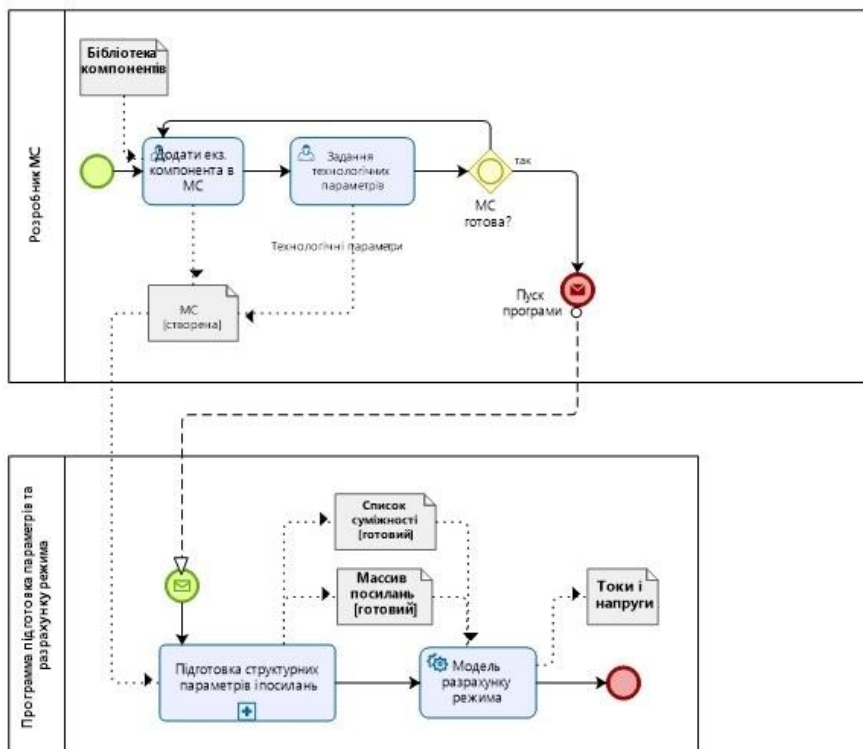


Рис. 1. Побудова мнемосхеми у автоматичній підготовці даних

Головною перевагою автоматичного налаштування даних є присвоєння структурних параметрів за допомогою програмного коду, котрий автоматично присвоює структурні параметри компонентам. У ручному варіанті введення даних структурні параметри записуються у вікні графічного редактору Flash “Властивості”. Дане вікно для кожного екземпляра бібліотечних компонентів. Проте, під час заповнення структурних параметрів непрограмуєчий спеціаліст може допустити помилку. Помилка під час заповнення структурних параметрів призводить до того що модель не працює. Так як зазвичай моделі мнемосхем мають велику кількість активних елементів, виникає проблема знаходження екземпляру з невірно записаним структурним параметром. Тому автоматичне налаштування підготовки даних нівелює фактор людської помилки.

- [1] Jakob Freund. Real-Life BPMN: Using BPMN 2.0 to Analyze, Improve, and Automate Processes in Your Company / Jakob Freund, Bernd Rücker // CreateSpace Independent Publishing Platform – 2012 – 232 с.
- [2] Лепатьєв А.О. Вивід значень струмів і напруг на мнемосхемі при автоматичній підготовці даних моделі режиму. Збірник тез XXXIX Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України 12 травня 2021.

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НАСЕЛЕННЯ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ПОМІСЯЧНО

Точне прогнозування попиту на електроенергію важливе для ефективного управління в енергетичному секторі. У задачі прогнозування попиту на електроенергію є багато різноманітних завдань, і одним з них є прогнозування потреби населення в електроенергії помісячно.

Питанням прогнозування споживання електроенергії населенням на довгострокову перспективу, в т.ч. помісячно, займаються іноземні та вітчизняні науковці [1-3] та багато інших.

Населення є одним з найбільших споживачів електроенергії в Україні – 35-36,5 млрд кВт·год за споживання у країні в цілому (нетто) 117,9-122,1 млрд кВт·год у 2017-2020 рр. Найбільшим споживачем за цей час була промисловість – 49,3-52 млрд кВт·год [5].

Прогноз споживання електроенергії населенням у році t визначається з урахуванням питомих витрат електроенергії населенням у базовому році, прогнозної чисельності населення України, зниження питомих витрат електроенергії за умови впровадження енергозберігаючих заходів та обсягів можливого заміщення електроенергії іншими видами ПЕР у домогосподарствах у прогнозному році [4].

Згідно даних Укренерго [5] чітко прослідковується залежність між споживанням електроенергії населенням та місяцем року (рис. 1).

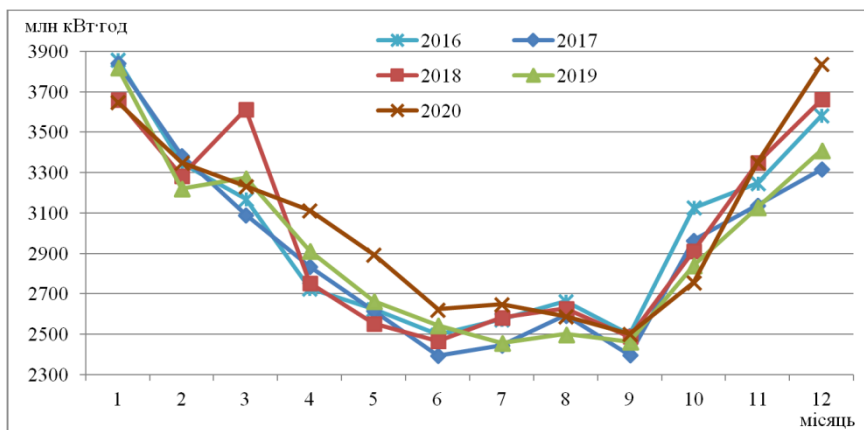


Рис. 1. Споживання електроенергії населенням по місяцях у 2016-2020 рр.

Розроблено математичну модель для прогнозування попиту на електроенергію населенням помісячно з урахуванням прогнозної чисельності та питомих витрат електроенергії населення у базовому році, та з її використанням розроблено прогноз до 2040 р. (рис.2).

Прогноз попиту на електроенергію населення помісячно до 2040 р. з шагом в 5 р. з урахуванням прогнозованої чисельності населення виконано для 2 варіантів – з використанням середнього питомого споживання населенням у 2017 р. – 822,36 кВт·год/особа (позначення «/1» на рис.2) і усередненого споживання за 2015-2019 рр. – 839,22 кВт·год/особа (позначення «/2» на рис.2). Прогнозна чисельність населення прийнята згідно з даними Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України.

В прогнозі прийнято, що величина потенціалу енергозбереження в побуті співпадає по величині зі збільшенням електроспоживання внаслідок збільшення кількості електроспоживаючого обладнання в побуті.

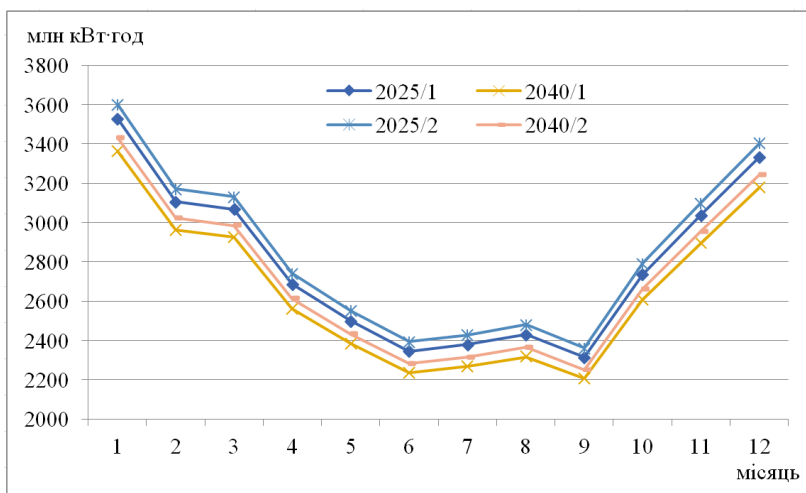


Рис. 2. Прогноз споживання електроенергії в Україні населенням по місяцях року

З використанням розробленої математичної моделі розроблено прогноз потреби на електроенергію на 2017 р. та 2020 р. з використанням фактичних даних щодо чисельності населення у відповідні роки для описаних вище двох варіантів, та порівняно їх з фактичними даними. Похибка прогнозування на рівні країни склала 3,3 та 5,7% для варіанту 1 (використання для прогнозування середнього питомого споживання населенням у 2017 р.) 2017 р. та 2020 р. відповідно, і 2,0 та 3,8 % для варіанту 2 (використання для прогнозування усередненого споживання за 2015-2019 рр.). Найбільшою похибка є для квітня та травня 2020 р. (11% та 9% для варіантів 1 та 2) і грудня 2020 р. (11% та 9% для варіантів 1 та 2). Більшу похибку для весни 2020 р. можна пояснити карантинними обмеженнями, викликаними пандемією, спричиненою SARS-CoV-2, що призвело до того, що населення більше часу знаходилось вдома, а для грудня – більшою за норму температурою. Для прогнозу на 2017 р. найбільшою похибка є для грудня (9 та 7%), березня (7% та 6%) та червня-липня (5% та 4%).

Таким чином, математична модель прогнозування попиту населення на електроенергію помісячно з використанням усередненого споживання за 2015-2019 рр. дає більш точні результати, модель не враховує кліматичні та економічні «стрибки».

- [1] Dikaios Tserkezos, E. (1992). Forecasting residential electricity consumption in Greece using monthly and quarterly data. *Energy Economics*, 14(3), 226-232. doi:10.1016/0140-9883(92)90016-7
- [2] Блінов І.В., Сичова В.В. Застосування методів декомпозиції у короткостроковому прогнозуванні сумарного електричного навантаження енергосистеми. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України* <https://doi.org/10.15407/publishing2021.59.068>
- [3] Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Панченко Г.Г. Прогнозна оцінка зменшення викидів парникових газів від використання вугілля в економіці України. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. №1(64). С. 60-67. <https://doi.org/10.15407/pge2021.01.060>
- [4] Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Богославська О.Ю. Удосконалений комплексний метод прогнозування енергоспоживання на довгострокову перспективу. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2019. № 3. С. 53-64. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2019.196383>
- [5] Сайт Укренерго. URL: <http://ua.energy>

РОБОТА З ЦИФРОВИМИ МОДЕЛЯМИ РЕЛЬЄФУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТАРІЮ SAGA GIS

У різних сферах людської діяльності, у тому числі й енергетиці, активно використовуються підходи, методи та моделі аналізу горизонтальних поверхонь [1, 2]. Більшість з відомих технологій 3D-візуалізації та роботи з цифровими моделями рельєфу належать до класу ГІС.

SAGA GIS (абр. System for Automated Geoscientific Analyses) – спеціалізоване програмне забезпечення, призначене для наукового геопросторового аналізу та моделювання даних з відкритим вихідним кодом [3]. Підтримується робота з наступними типами даних: растрові зображення, таблиці та бази даних, дані ДЗЗ, векторні об'єкти (точки, лінії, полігони, фігури, класи TIN та ін.), метадані.

Для роботи з цифровими моделями рельєфу в середовищі SAGA GIS можлива за допомогою бібліотек інструментів (tool libraries). В системі виділено такі ключові набори класів²:

- Climate and Weather – група інструментів для обробки та аналізу кліматичних і погодніх даних (включає 32 інструменти);
- Garden – група інструментів для роботи з фракталами, обміну даними з веб-службами, додавання елементів гейміфікації (10 інструментів);
- Grid – група інструментів для роботи з растровими об'єктами (118 інструментів);
- Imagery – група інструментів для кластеризації, класифікації та іншої обробки векторних зображень (59 інструментів);
- Import/Export – група інструментів підтримки імпорту та експорту даних (117 інструментів);
- Projection – група інструментів для роботи з проєкціями об'єктів та поверхню, перетворення координатних систем, представлення геопросторових даних у визначених форматах (32 інструменти);
- Shapes – група інструментів для роботи з векторними об'єктами та даними (122 інструменти);
- Simulation – група інструментів для моделювання процесів (40 інструментів);
- Spatial and Geostatistics – група інструментів просторового аналізу та геостатистики (50 інструментів);
- TIN – група інструментів для обробки триангуляційної нерегулярної мережі (8 інструментів);
- Terrian Analysis – група інструментів для аналізу місцевості (101

² У відповідності з останньою версією офіційної документації SAGA-GIS Tool Library Documentation (v8.2.1)

- інструмент);
- Visualization – група інструментів візуалізації даних (19 інструментів).

Кожен інструмент SAGA GIS є похідним від ключового набору класу системи, має стандартний для системи інтерфейс, але специфічні функціональні можливості (алгоритм обробки даних, вхідні та вихідні дані, параметри налаштування тощо).

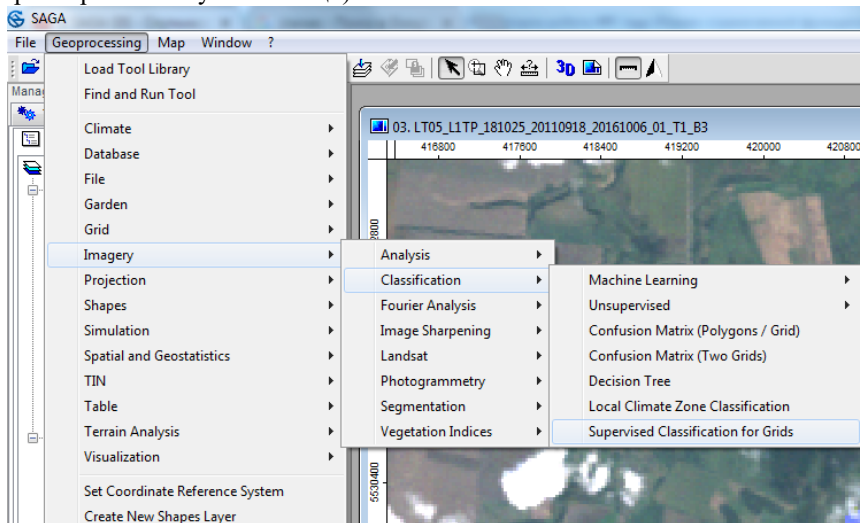


Рис. 1. Інструменти групи Imagery в SAGA GIS

При необхідності, у SAGA GIS передбачена можливість завантаження сторонніх бібліотек інструментів для роботи (Load Tool Library) з відкритих джерел даних.

Отже, використання SAGA GIS дозволяє проводити аналіз місцевості, вивчати геоморфологію горизонтальних поверхонь та ґрунту, розв'язувати різноманітні задачі кліматології, метеорології, екології тощо.

- [1] Kyrylenko Y., Kameneva I., Popov O., Iatsyshyn A., Artemchuk V., Kovach V. (2020) Source Term Modelling for Event with Liquid Radioactive Materials Spill. In: Babak V., Isaienko V., Zaporozhets A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy I. Studies in Systems, Decision and Control, vol 298, pp 261-279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_17
- [2] Яцишин А. В. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки / А. В. Яцишин, О. О. Попов, В. О. Артемчук, В. О. Ковач, І. С. Зінов'єва // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2019. – Т. 72, № 4. – С. 286-305. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2019_72_4_24.
- [3] Saga GIS tutorials [Online]. – URL: <https://sagatutorials.wordpress.com/about-saga-gis/>

О.О. Попов, В.О. Артемчук, В.В. Коваленко, О.М. Коваленко,
Є.Б. Краснов, І.Д. Мартинюк, А.П. Сулима

АНАЛІЗ МЕТОДИК ОЦІНЮВАННЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Під час перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом за різних обставин (ДТП, природні катаклізми, терористичний акт тощо) можуть виникати надзвичайні ситуації (НС), пов'язані із розгерметизацією ємностей (цистерни, контейнери, балони тощо) і потраплянням небезпечних хімічних речовин (НХР) у довкілля та створенням значного ризику для населення прилеглих територій. Небезпека, яку створюють такі НС, дуже велика оскільки досить часто таке транспортування здійснюється в населених районах і поблизу промислових підприємств.

Характерними особливостями цього виду НС є і те, що вони, як правило, не можуть бути повноцінно ліквідовані силами тільки одного рятувального підрозділу, як у випадку зі звичайним ДТП. Іншою особливістю є дуже висока динаміка розвитку ситуації. Таким чином, ефективне реагування на такі НС можливо при добре організованому взаємодії служб, які повинні працювати в рамках єдиного стандарту або алгоритму.

Розглянемо існуючі методики, які використовуються при оцінюванні наслідків хімічних аварій, пов'язаних з виливом (викидом) НХР із технологічних ємностей на автомобільному транспорті.

Аналіз хімічної безпеки територій, складання паспортів території небезпечних об'єктів ґрунтується на оцінці ризику виникнення аварій на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО), а також побудові карти ризиків потенційної хімічної безпеки.

В основі оцінки ризику хімічної безпеки лежить методика прогнозування наслідків хімічних аварій [1], проте процес проведення аналізу ризиків на ХНО потребує вдосконалення методів прогнозування [2].

Існує три основні підходи для математичного моделювання процесу поширення викиду дрібнодисперсних та газоподібних речовин у повітрі:

а) гаусівська або дисперсійна методика розповсюдження;

б) методики розсіювання, що базуються на інтегральних законах збереження із зосередженнями параметрами. Однією з різновидів є методика поширення важкого газу;

в) методики прямого чисельного моделювання.

Розподіл Гауса є основою математичного моделювання зміни концентрації газу у просторі залежно від часу. Для того, щоб отримати моделі розсіювання використовуються експериментально отримані коефіцієнти, що описують турбулентність, що виникає в атмосфері. Вищезазначені методики розглядають два процеси, що відбуваються на полі викиду НХР: рух повітря і дисипація шкідливих речовин через

турбулентність в атмосфері. Гаусівські методики є прийнятно достовірними при значному віддаленні від місця викиду або при слабкому викиді.

Насправді поведінка реального викиду є складнішою, ніж передбачається в розглянутих методиках. Розглянемо найбільш поширені методики, які не використовують гаусівські моделі:

1) Програмне забезпечення HGSYSTEM [3], яке складається з модулів, що включають такі методики: DATAPROP, SPILL, HFSPILL, LPOOL. Ці методики здатні визначати просторові характеристики поширення аварійно-хімічно небезпечних речовин (АХНР) з герметичних посудин, враховують рельєф місцевості та характер забудови щодо глибини зараження. Додаткові утиліти дозволяють створювати текстові звіти, а також відображати результати розрахунків у геоінформаційних системах. Одним з недоліків методик є неврахування форми та розмірів резервуарів, з яких відбувається виливання АХНР. Перевагою даних методик є здатність моделювання випаровування багатокомпонентних сумішей.

2) Методика [4] призначена для оперативного або попереднього прогнозування наслідків хімічних аварій. До переваг цієї методики можна віднести простоту та оперативність обчислень. Недоліки: в даній методиці приймаються припущення, що впливають на результат прогнозування: товщина плівки розлитого АХНР приймається 0,05 м для всіх речовин; не враховується поглинання речовин підстилаючою поверхнею; табличні дані методики за глибинами поширення розраховані тільки для хлору; розрахунок відбувається у двовірному просторі; не враховується рельєф місцевості; не розглядається сценарій часткової розгерметизації резервуарів.

3) Методика «Прогнозування та оцінка обстановки в інтересах підготовки до захисту та захисту населення, матеріальних та культурних цінностей, а також територій від небезпек, що виникають при веденні військових дій, внаслідок цих дій, а також при надзвичайних ситуаціях» [5]. Програмною реалізацією методики є програма «ТОКСИ». Перевагами даної методики є: розрахунок здійснюється у тривірному просторі; через велику кількість вхідних даних результати розрахунку більш достовірні; враховується рельєф місцевості. Недоліки: можливість визначення зони хімічного зараження лише стаціонарних об'єктів; необхідність введення великої кількості вхідних даних, що дозволяє використовувати її для оперативного розрахунку.

4) Методика Савчука О.М. [6] передбачає прогнозування наслідків хімічних аварій за участю рухомих резервуарів з АХНР. Ця методика враховує поширення хімічно зараженої хмари з урахуванням протікання АХНР на ділянці гальмування і в районі транспорту, що перевозить АХНР, з урахуванням часткової розгерметизації, особливостей забудови селитебної території.

Недоліком цієї методики є неврахування просочування частини пропитаної АХНР на підстилаючу поверхню, а також тип підстилаючої

поверхні, що визначає параметри площі розливу. Також прийнято припущення, що розлив АХНР ідентичний розливу нафтопродуктів.

5) Методика [7], яка здатна вирішувати такі завдання:

- розраховувати площі зон можливого хімічного зараження та глибину його поширення;
- розраховувати час вражаючої дії джерела зараження;
- визначати час підходу хмари зараженого повітря до зазначених об'єктів;
- проводити розрахунки щодо втрат серед населення, яке потрапило до зони можливого хімічного зараження з урахуванням ступеня забезпеченості засобів індивідуального захисту.

6) Методика, що затверджена Наказом МВС України від 29.11.2019 № 1000 [8]. Ця методика дає змогу здійснити довгострокову (оперативну) та аварійну оцінку обстановки в разі виникнення аварій, пов'язаних з виливом (викидом) НХР із технологічних ємностей на ХНО, автомобільному, річковому, залізничному (під час перебування в нерухомому стані) та трубопровідному транспорті.

Основними показниками, що визначають масштаб хімічного забруднення згідно методики [8], є:

- радіус R_A , (км) та площа S_A (км²) району аварії;
- глибина D_1 (км) та площа S_1 (км²) поширення первинної хмари НХР;
- глибина D_2 (км) та площа S_2 (км²) поширення вторинної хмари НХР.

Проведений аналіз дає можливість зробити висновок, що розглянуті методики мають ряд недоліків: неврахування характеру підстилаючої поверхні, поглинання НХР та параметрів площі розливу різних НХР; використання математичного апарату, отриманого лише емпіричним шляхом; використання недостатньо точних моделей гаусівського типу для визначення рівня забруднення атмосферного повітря. Ряд інших методик використовуються для прогнозування наслідків аварій лише на стаціонарних ХНО.

У зв'язку з цим, для оцінювання наслідків аварій при перевезенні особливо НХР на автомобільному транспорті необхідно розробляти нові математичні та програмні засоби, які будуть краще існуючих аналогів за всіма основними показниками. Результати вирішення даних задач буде представлено в подальших публікаціях авторів.

- [1] Шталов, А.А. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеяния тяжелого газа. Безопасность труда в промышленности. 2004. № 9. С. 46-52.
- [2] Аксенов Александр Александрович. Оценка риска химической опасности при перевозке автомобильным транспортом аварийно химически опасных веществ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России МЧС России. 2020 г.

- [3] Fthenakis, V.M. HGSYSTEM: a review, critique, and comparison with other models. *Journal of loss prevention in the process industries*. 1999. №12(6). P. 525-531.
- [4] Капустин, С.Ю., Малахов, В.И. Методическое пособие по прогнозированию и оценке химической обстановки в чрезвычайных ситуациях. Иваново, ИГТА. 2001. 15 с.
- [5] Прогнозирование и оценка обстановки в интересах подготовки к защите и по защите населения, материальных и культурных ценностей, а также территорий от опасностей, возникающих при ведении военных действий, вследствие этих действий, а также при чрезвычайных ситуациях. Москва, ВНИИ ГОЧС, 2006. 8 с.
- [6] Савчук, О.Н. Химическая безопасность. Системный анализ прогнозирования возможных последствий при авариях (разрушениях) химически опасных объектов. Монография. Saarbrücken, LAMBERT Academic Publishing, 2013. С. 58-63.
- [7] Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: Руководящий документ РД 52.04.253-90. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 23 с.
- [8] «Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті», затверджена Наказом МВС України від 29.11.2019 № 1000. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#top>

О.О. Попов, А.В. Яцишин, С.І. Скуратівський, В.О. Ковач,
Є.В. Пилипчук, Є.Б. Краснов, О.М. Коваленко

ПРО ПРОБЛЕМИ, ЩО ПОТРЕБУЮТЬ ВИРІШЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БПЛА В ЗАДАЧАХ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Для контролю радіаційної обстановки за складних умов (пожежа, руйнація об'єкту, складний рельєф, значна рослинність) найбільш ефективним є використання дистанційного методу вимірювання на основі БПЛА. Використання таких засобів дозволяє при малій похибці вимірювань істотно підвищити оперативність радіаційного контролю, його надійність, зменшити ризик прийняття неправильного рішення і, зрештою, оптимізувати прийняття рішень.

В публікації [1] представлено останні розробки в системах виявлення радіації, які використовуються на наземних і повітряних платформах для сценаріїв аварійного радіаційного моніторингу (радіаційне забруднення внаслідок ядерних аварій), в [2] описано повітряні платформи, які використовуються для бортового радіаційного картографування та їх перспективи, в [3] представлено безпілотні системи з потенціалом використання для радіаційних вимірювань та відбору проб. Проте, незважаючи на значні переваги використання безпілотних транспортних засобів в задачах радіаційного моніторингу, є ряд проблем, які необхідно вирішувати при їх використанні, а саме [4]–[8]:

1. Зв'язок. На БПЛА використовуються електрооптичні мульти- або гіперспектральні камери, засоби для виявлення світла та визначення дальності (LiDAR), мікрорадіодетекції та визначення дальності (RADAR), які передають великий об'єм інформації. Через обмежену пропускну здатність і можливі перешкоди або збій, особливо в операціях «за межами прямої видимості», можуть виникати труднощі зі зв'язком.

2. Автономність. Використання вимірювальних комплексів на основі БПЛА потребує людського нагляду та контролю, особливо в міських районах. Через низьку висоту польоту (0,3–40 м) та близькість до міських споруд (1,5 м) можуть виникати проблеми в автономності їх роботи та навігації. У таких умовах необхідно враховувати п'ять автономних навігаційних можливостей: сканування, уникнення перешкод, слідування за контуром, повернення в задану точку з урахуванням особливостей навколишнього середовища та рух за градієнтом показника дослідження. Крім того, поблизу будівель та інших споруд зменшується покриття супутника GPS. Тому, забезпечення автономності роботи вимірювальних комплексів в складних умовах на сьогодні є складною проблемою.

3. Процес від отримання даних до прийняття рішення. Необхідно покращувати автономний аналіз даних (візуальні та радіаційні дані) для швидкого використання особами, що приймають відповідні рішення.

4. Датчики вимірювання параметрів навколишнього середовища. Необхідні швидкі, дешеві та надійні датчики та пов'язана з ними електроніка для реагування в реальному часі.

5. Живлення. Неперервний час роботи обертаючого двигуна з батарейним живленням може змінюватися в межах 10–60 хв (залежно від корисного навантаження).

6. Погодні умови. У більшості випадків робота БПЛА обмежена несприятливими погодними умовами (опади, вітер, туман, забруднення). В таких обставинах дані, зібрані датчиками, комунікаційними та навігаційними системами, можуть бути пошкоджені або не точними.

7. Нормативно-правові обмеження. Правила безпеки та експлуатаційні процедури необхідні для уникнення зіткнення безпілотників з наземними перешкодами (людьми та спорудами) та іншими літаками.

8. Радіаційні пошкодження. Під час впливу сильних полів радіації термін експлуатації безпілотних платформ обмежений. Це пов'язано з мікроскопічними пошкодженнями, викликаними радіаційною взаємодією з матеріалами платформи. Тому, для виконання запланованих завдань важливо передбачити радіаційні пошкодження в матеріалах і датчиках платформи. Доступні три способи зменшення впливу радіації на критичні компоненти: збільшити відстань до джерела, зменшити час опромінення та/або використовувати захисні матеріали.

9. Шум. На низькій висоті польоту БПЛА створюють значний рівень шуму через обертання пропелерів мультиротора або вібрації планера. Вирішення даної проблеми потребує вдосконалення конструкції дрона та зміни траєкторії польоту.

Підвищення ефективності використання безпілотних систем для вирішення задач контролю радіаційної обстановки потребує: розроблення нових вимірювальних (детектуючих) систем на основі штучного інтелекту для різних сценаріїв радіоактивних чи ядерних ситуацій; забезпечення автономності та довготривалості роботи; розроблення програмного забезпечення для швидкого аналізу отриманих даних та засобів для підвищення точності виявлення радіоактивного джерела, його локалізації і ідентифікації; використання малогабаритних багатофункціональних датчиків.

- [1] Pradeep Kumar, K.A., Shanmugha Sundaram, G.A., Sharma, B.K., Venkatesh, S., Thiruvengadathan, R.: Advances in gamma radiation detection systems for Emergency Radiation Monitoring. Nucl. Eng. Technol. 52, 2151–2161 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.014>
- [2] Connor, D.T., Wood, K., Martin, P.G. et al. Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chornobyl. Front. Robot. AI. 6, 149 (2020). <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00149>
- [3] Schneider, F.E., Gaspers, B., Peräjärvi, K., Gärdestig, M.: Current State of the Art of Unmanned Systems with Potential to be Used for Radiation Measurements and Sampling: ERNCIP Thematic Group Radiological and Nuclear Threats to Critical

- Infrastructure Task 3 Deliverable 1; Publications Office of the European Union: Luxembourg (2015).
- [4] Watkins, S., Burry, J., Mohamed, A. et al. Ten questions concerning the use of drones in urban environments. *Build. Environ.* 167, 106458 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106458>
- [5] Scanlan, J., Sobester, A., Flynn, D., Lane, D., Richardson, R., Richardson, T.: *Extreme Environments Robotics: Robotics for Emergency Response, Disaster Relief and Resilience*, 1st ed.; UKRAS White Paper; UK-RAS Network: London, UK (2017).
- [6] Duncan, B.A., Murphy, R.R.: Autonomous Capabilities for Small Unmanned Aerial Systems Conducting Radiological Response: Findings from a High-fidelity Discovery Experiment: Autonomous Capabilities for SUAS Conducting Radiological Response. *J. Field Robot.* 31, 522–536 (2014). <http://dx.doi.org/10.1002/rob.21503>
- [7] Nagatani, K., Kiribayashi, S. et al.: Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots: Emergency Response to the Fukushima Nuclear Accident using Rescue Robots. *J. Field Robot.* 30, 44–63 (2013).
- [8] Kazemeini, M., Vaz, J.C., Barzilov, A.: Study of radiation effects in electronics of a hexapod robotic platform. In *Proceedings of the AIP Conference Proceedings* 2160, Grapevine, Texas, USA, 12–17 August 2018; pp. 060003-1–060003-6.

Є.В. Пилипчук, В.О. Ковач, А.В. Яцишин, В.О. Куценко

ЕФЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД НЕЙТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ

Нейтронне випромінювання (НВ) завдяки великій проникній здатності широко використовується в різних народному господарства. З іншої сторони, воно є одним з найнебезпечніших видів опромінення. Його вплив на біологічну тканину призводить до іонізації матеріалу та, як наслідок, суттєвих змін функціональності клітин організму або втрати здатності до відновлення. Також можуть утворюватися інші хімічні елементи, в т.ч. радіонукліди, що породжує в організмі наведену радіоактивність. Ця ж проблема є актуальною і для ядерних установок, оскільки через нейтронне опромінення обладнання стає радіоактивним, тобто непридатним до використання [1].

Для захисту від НВ різних джерел використовуються екрануючі конструкції (на основі води, поліетилену, парафіну, бетону з гравієм тощо). Також високу ефективність захисту від НВ показали матеріали на основі хімічних елементів, які мають властивість поглинати потік нейтронів. Такими хімічними елементами є бор, гадоліній, берилій, кадмій, графіт та ін.

Одним з найкращих поглиначів нейтронів є бор. Бор за взаємодії з нейтронами розпадається на вуглець та гелій і практично не породжує гамма-випромінювання, тому щити з карбіду бору широко використовуються в ядерній енергетиці як поглиначі нейтронів. Наприклад, резервуари з водою чи мазутом, бетоном, гравієм та карбідом бору служать захистом від нейтронного випромінювання в ядерних реакторах. Також відповідне застосування знайшли просочене бором кварцове скло, звичайне боросилікатне скло, сталі з високим вмістом бору, парафін, органічне скло тощо.

Чистий ^{10}B і, особливо, його сполуки застосовують у вигляді матеріалів, що поглинають нейтрони, при виготовленні регулюючих стрижнів для ядерних реакторів, що уповільнюють чи припиняють реакції ділення, або захисних шарів для захисту від нейтронного випромінювання. Бо він характеризується дуже високим ефективним перетином захоплення теплових нейтронів ($3 \times 10^{-25} \text{ м}^2$), а також важливо, що при цій ядерній реакції виникають тільки стабільні ядра. Діаграма нуклідів, що показує значення поперечного перерізу захоплення теплових нейтронів представлена на рис. 1.

В публікації [3] досліджено характеристики згасання нейтронного випромінювання в бетонах армованих базальт-борної фіброю. Показано, що фібра з більшим вмістом оксиду бору (10 %) працює краще, ніж фібра з меншим вмістом оксиду бору (5 %). Додавання важкого агрегату (в даному випадку серпентиніта) покращує захисні властивості бетону від нейтронного випромінювання в порівнянні з використанням звичайного щебеню в якості агрегату.

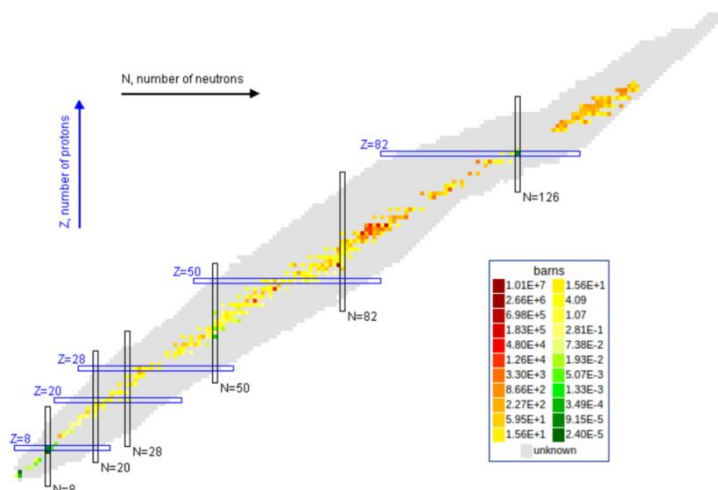


Рис. 1. Діаграма нуклідів, що показує значення поперечного перерізу захоплення теплових нейтронів [2]

Також, одним з ефективних поглиначів нейтронів є гадоліній. Він має найвищий переріз захоплення нейтронів серед усіх стабільних нуклідів (61000 барн для ^{155}Gd і 259000 барн для ^{157}Gd) і, у зв'язку з цим, матеріали з вмістом Gd є одними з найбільш ефективних при поглинанні нейтронного випромінювання. На рис. 2 показано переріз захоплення нейтронів ізотопами бору та гадолінію залежно від енергії нейтрона.

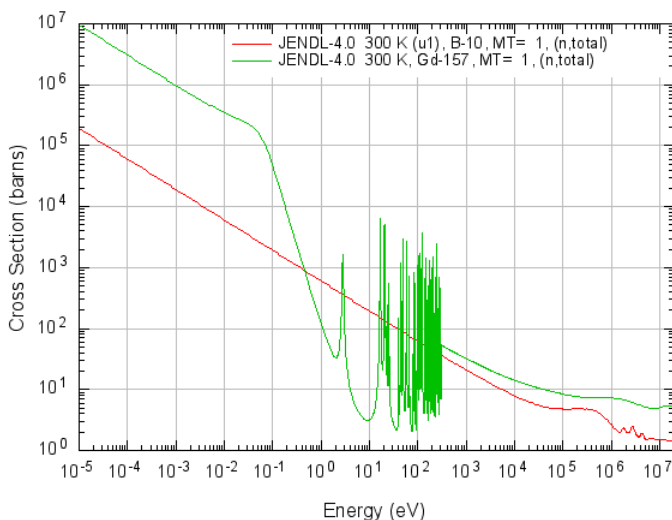


Рис. 2. Переріз захоплення нейтронів ізотопами Gd157 та B10 [4]

Gd є дуже ефективним для використання в нейтронній радіографії і в екрануванні нейтронів від ядерних реакторів. Він використовується як поглинач нейтронів в аварійних системах відключення в деяких ядерних реакторах, зокрема типу CANDU [5].

Вчені Університету штату Північна Кароліна та компанії Lockheed Martin з'ясували, що іржа – чудовий захист від космічної радіації. У результаті спільного дослідження виявилось, що окислений метал, особливо Gd_2O_3 , блокує більше випромінювання, ніж будь-який інший матеріал. Розрахунки проходження випромінювання показують, що використання порошкового оксиду металу забезпечує екранування, яке можна порівняти зі звичайним металевим екраном. За низьких енергій порошок оксиду металу зменшує проникнення гамма-випромінювання в електроніку в 300 разів і скорочує шкоду від нейтронного випромінювання на 225 % [6].

Високощільні керамічні матеріали зі структурою пірохлору $Gd_2Zr_2O_7$ знаходять широке застосування в промисловості та ядерній енергетиці завдяки поєднанню таких властивостей, як висока термічна, корозійна та радіаційна стійкість, низька температура спікання та низька теплопровідність. Їх використовують як термічне бар'єрне покриття, матеріал для поглинаючих елементів стрижнів управління та захисту ядерного реактора, а також як матричний та іммобілізаційний матеріал для підготовки до довготривалого зберігання або остаточного захоронення високоактивних відходів [7].

В роботі [8] розроблено чохол контейнера для транспортування і зберігання ядерного палива. Він включає литий корпус з влитими профільними металевими трубами з плоскими гранями, що утворюють канали для встановлення тепловиділяючих зборок. Графітові вставки виготовляють за технологією виробництва графітових електродів електродугових печей з добавками оксидів бору та гадолінію.

В роботі [9] розроблено транспортний пакувальний комплект для радіоактивних відходів на основі радіаційно-захисної полімерної матриці. Підтверджено можливість синтезу високодисперсних гідрофобних металоорганосилоксанових порошоків, у силоксановому ланцюгу яких міститься хімічно пов'язаний гадоліній з високою концентрацією атомів гадолінію в олігомерному обсязі. Проведено розрахункові та експериментальні дослідження, які показали високу ступінь нейтронно-захисних властивостей розробленого полімерного композиту.

Отже, можемо зробити висновок, що на сьогоднішній день матеріали, які містять бор чи гадоліній є найбільш ефективними при захисті від нейтронного випромінювання завдяки високій здатності до захоплення нейтронів.

Сучасні тенденції у боротьбі зі зміною клімату вимагають використання в галузях народного господарства безпечних речовин та екологічно чистих матеріалів, або таких, що здійснюють мінімальний вплив на навколишнє природне середовище. На сьогоднішній день практично відсутні публікації щодо розробок та створення екологічно-безпечних композитних матеріалів

на основі природних біополімерів та гадолінію. Тому, актуальною науково-практичною проблемою є створення нових екологічно безпечних Gd-вмісних нанокompозитних матеріалів, які відповідатимуть сучасним вимогам безпеки (біосумісності, низької токсичності), що дозволить використовувати їх не тільки на об'єктах ядерно-промислового комплексу для захисту персоналу та обладнання, а також і у біомедичних цілях (наприклад в якості гнучких прозорих пов'язок, трансдермальних пластирів тощо). Авторами розпочато роботу із розроблення таких нанокompозитів, отримані результати будуть представлені в подальших наукових публікаціях.

- [1] Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник – Львів: УАД, 2006 – 336 с.
- [2] Neutron capture. https://wblog.wiki/uk/Neutron_capture
- [3] Romanenko, I., Holiuk, M., Nosovsky, A., Vlasenko, T., & Gulik, V. (2019). Новий композитний матеріал на основі важкого бетону і базальт-борної фібри для радіаційного захисту від нейтронного випромінювання. Ядерна та радіаційна безпека, (2(82), 19-25. [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.2\(82\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.2(82).04)
- [4] Plotting Tool for ENDF. https://www.ndc.jaea.go.jp/ENDF_Graph/
- [5] Greenwood, Norman N.; Earnshaw, Alan (1997). Chemistry of the Elements (2nd ed.). Butterworth-Heinemann
- [6] DeVanzo M, Hayes RB. Ionizing radiation shielding properties of metal oxide impregnated conformal coatings. Radiat Phys Chem 2020 Vol. 171 108685 <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108685>
- [7] Высокоплотный керамический материал Gd₂Zr₂O₇ со структурой пироклора для экологически безопасной изоляции РАО. http://ukrniio.pat.ua/files/builders/464/upload/file/2015_10%20str%2064-73.pdf
- [8] Kapilevich A.N., Shegelman I.R., Bogdanov D.M., Vasilev A.S. Container cover for spent nuclear fuel transportation and storage. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38146036>
- [9] Yastrebinskii R., Bondarenko G., Pavlenko V. Transport packing set for radioactive waste on the basis of the radiationprotective polymeric matrix. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23589597>

О.О. Попов, Анна В. Яцишин, А.В. Яцишин, В.О. Ковач,
О.В. Фаррахов, А.М. Лагойко, Т.О. Шевченко

СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

Наразі повсюдно зростає інтерес до реакторів малої потужності або малих модульних реакторів (ММР) через їх здатність задовольняти потребу в гнучкому виробництві електроенергії для різних користувачів і замінити старіючі електростанції, що працюють на органічному паливі. Також, такі реактори мають покращені показники безпеки завдяки наявності внутрішньо властивих і пасивних засобів безпеки, характеризуються нижчими початковими капітальними витратами та придатні для когенерації. Крім того, вони придатні для віддалених регіонів з менш розвинутою інфраструктурою та відкривають можливості створення синергетичних гібридних енергетичних систем, які поєднують ядерні та альтернативні джерела енергії, включаючи відновлювані джерела [13].

Міжнародна організація МАГАТЕ до малих реакторів відносить реактори, що мають потужність до 300 МВт і складаються з модулів, які перед доставкою та монтажем на майданчику виготовляються на заводі. Концепція малих модульних реакторів та їх застосування у виробництві електроенергії багато років залишалися предметом обговорення вчених, представників влади та спеціалістів у галузі ядерної енергетики. На тлі технологічних проривів останнього десятиліття ідея використання ММР видається все більш обґрунтованою та економічно виправданою [14].

У роботі [12], вказано, що «малі модульні реактори» – це сучасні ядерні реактори потужністю до 300 МВт (ел.) на енергоблок. ММР можуть виробляти велику кількість низьковуглецевої електроенергії, вони є: 1) малими – у кілька разів менші за традиційні ядерні енергетичні реактори; 2) модульними – їх можливо збирати на заводі та перевозити єдиним блоком на місце встановлення; 3) реакторами – у них використовується ядерний поділ для виділення тепла з метою одержання енергії.

Нині вже багато країн розпочали проєктувати ММР. Проте більшість проєктів ще перебуває на різних стадіях розробки. Станом на кінець 2021 р. лише чотири ММР знаходяться на етапі будівництва в Китаї, Росії та Аргентині. Тому, у найближчі роки очікується, що в цих країнах розпочнеться комерційна експлуатація ММР. Ще ряд країн (США та Канада) теж скоро запустять малі реактори у роботу. Організація МАГАТЕ здійснює координацію проєктів своїх держав-членів, спрямованих на розробку різних типів ММР. Також, застосовується системний підхід до визначення та розробки перспективних технологій з метою забезпечення конкурентоспроможності та надійного функціонування малих реакторів [13].

Будівництво першого у світі наземного ММР (125 МВт), який призначено для вироблення електроенергії, міського опалення та

охолодження й опріснення морської води, розпочато в Китаї. Водночас, про фінансування компанії Rolls-Royce для будівництва ММР у кількох містах оголосив уряд Великобританії [15].

Для розвитку галузі ядерної енергетики світу важливим є дослідження та аналіз досвіду різних країн щодо проектування та будівництва ММР. На підставі проведеного аналізу відкритих джерел було зроблено систематизацію досвіду за континентами: Південна Америка, Північна Америка, Австралія, Африка, Євразія.

Південна Америка. Аргентина.

В Аргентині розпочато будівництво наземного ММР з водяним охолодженням CAREM потужністю 33 МВт. В основі проекту лежить інтегральний легководний реактор (LWR) електричною потужністю 30 МВт та тепловою потужністю 100 МВт. До головних характеристик цього проекту відносяться: інтегральне компонування першого контуру охолодження; охолодження активної зони природною циркуляцією; внутрішньокорпусні механізми керування регулюючим стрижнем, а також системи безпеки з акцентом на пасивні механізми захисту. У конструкції реактора CAREM зведені до мінімуму нестійкі компоненти та ризики взаємодії із зовнішнім середовищем. Планується, що після запуску реактора CAREM у промислову експлуатацію він вироблятиме 120 МВт електроенергії. Отже, така електростанція із чотирма блоками зможе виробляти 480 МВт електроенергії. Водночас до можливих сфер застосування установки віднесено: енергозабезпечення регіонів країни з малою потребою в електроенергії; забезпечення потреб мешканців узбережжя (через наявність у реактора CAREM функції опріснення води та здатність забезпечувати кінцевих споживачів питною водою та електрикою) [14].

Північна Америка. Сполучені Штати Америки.

Міністерство енергетики США у 2018 р. виділило 60 млн \$ на проведення наукових досліджень із удосконалення технологій атомної енергетики. США працює з NuScale Power та компанією Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS) над розробкою електростанції з 12 ММР потужністю 60 МВт кожен. Усі модулі будуть побудовані з компонентів, виготовлених заводським способом, які зберуть у готові конструкції на майданчику Національної лабораторії Айдахо. Проект називається CFPP (Carbon Free Power Project). Реактор, розроблений NuScale, назвали JUMP (Joint Use Module Plant). Одиничний блок називається NPM – «атомно-енергетичний модуль». Було ухвалено остаточне рішення: станції на основі NPM будуть називатися VOYGR, а цифра, наприклад, 12 – позначатиме кількість модулів, з яких складається станція. Замовникам також пропонують два рішення меншого розміру: чотиримодульну установку потужністю близько 308 МВт та шестимодульну потужністю близько 462 МВт (VOYGR-4 та VOYGR-6) [11].

Канада.

Канадською Програмою розвитку ММР передбачено створення нових робочих місць, об'єктів інтелектуальної власності та побудову ланцюжків поставок. Водночас наголошується на дефіциті кадрів, оскільки з'ясувалося, що галузеві компанії потребують досвідчених операторів для управління ММР, які будуть відповідальні за їх експлуатацію. У звіті про перспективи розвитку ММР у Канаді CNL заявила про намір до 2026 р. встановити ММР на одному зі своїх майданчиків [14]. Канадська компанія Ontario Power Generation (OPG), оголосила про план будівництва ММР в Дарлінгтоні. Розробниками ММР було представлено три проекти: 1) інтегральний модульний реактор на розплаві солей IMSR400 канадської компанії Terrestrial Energy; 2) «традиційний» НРМ компанії NuScale; 3) проект киплячого реактора BWRX-300 альянсу GE Hitachi. В результаті OPG оголосила, що обирає BWRX-300, розроблений альянсом GE Hitachi Nuclear. Проект малого реактора BWRX-300 потужністю 300 МВт (е) з водяним охолодженням та пасивними системами безпеки відноситься до покоління Х водяних киплячих реакторів та розроблений на основі проекту великої потужності ESBWR. Цей проект проходить попередню ліцензійну перевірку конструкції постачальника до Канадської комісії з ядерної безпеки (VDR). До особливостей BWRX-300 можна віднести природну циркуляцію води всередині активної зони, яка не потребує електричних насосів та використання як паливо стандартних касет GNF2 [11].

Австралія.

Будівництво та експлуатацію АЕС в Австралії заборонено і немає жодного реактора, за винятком дослідного OPAL (потужністю 20 МВт), який експлуатує Австралійська організація з ядерної науки та техніки (ANSTO) для виробництва медичних радіоізотопів. Водночас в Австралії знаходиться майже третина розвіданих світових запасів урану, а країна посідає третє місце за обсягами його виробництва. До прикладу, у 2017 р. компанія SMR Nuclear Technology Pty Ltd опублікувала план розвитку ММР в Австралії на 2018–2030 рр. [13][14].

Африка. Південно Африканська Республіка (ПАР).

Для ПАР ММР можуть стати прийнятним варіантом ядерної генерації з погляду фінансування, простоти будівництва та експлуатації. Оскільки ММР вже проектується для вироблення електроенергії, тепла та опріснення води у віддалених, територіально ізольованих населених пунктах на півночі Канади, і такі проекти можуть підійти для невеликих неелектрифікованих поселень в Африці, де умови аналогічні. ММР можна побудувати безпосередньо там, де це потрібно, без підключення до енергомереж, а їх потужність підвищуватиметься за рахунок нових блоків в міру необхідності для задоволення зростаючого попиту на енергію. Було розроблено нову концепцію вдосконаленого високотемпературного реактора (АНТР-100) потужністю 50 МВт (е) / 100 МВт (т), який планується побудувати після 2030 р. НТМР Ltd, сестринська компанія Steenkampskraal Thorium Ltd (STL), яка має права на видобуток торію на родовищі монацитових пісків

Стінкамскрааль, проектує високотемпературний модульний реактор HTMR-100. Високотемпературний газоохолодний реактор з кульовим засипанням активної зони може працювати на торієвому або урановому паливі і має потужність 35 МВт (е) і 100 МВт (т) (пара високої якості). Ця установка може використовуватися у віддалених районах, на островах, а також для виробництва водню та добрив, опріснення, металообробки та промислового теплопостачання на нафтохімічних та нафтопереробних заводах [14].

Євразія. Китайська Народна Республіка.

В Китаї для розвитку атомного галузі тривають розробки ММР: АСР100 (125 МВт (е) / 385 МВт (т)), НТР-РМ (два реактори по 250 МВт (т) та одна турбіна на 211 МВт (е)), АСР50S (50 МВт (е) / 200 МВт (т)) та САР200 (200 МВт (е) / 660 МВт (т)). В Університеті Цинхуа спільно з компанією CHINERGY розробляють НТР-РМ – високотемпературний газоохолодний малий модульний реактор з кульовим засипанням активної зони. Ще у 2008 р. було розпочато роботи на майданчику майбутньої станції НТР-РМ. У 2016 р. вже було побудовано два корпуси ядерного реактора і засипані кульові графітові тепловиділяючі елементи [14].

У 2016 р. МАГАТЕ було схвалено багатоцільовий реактор Linglong One, також відомий як АСР100. Цей перший у світі наземний ММР був розроблений на додаток до великих реакторів покоління III Hualong One потужністю 1170 МВт. Будівництво демонстраційного реактора Linglong One відбувається на острові Хайнань, поряд із діючою АЕС «Чанцзян». Linglong One є реактором з водою під тиском потужністю 125 МВт, названий багатоцільовим, оскільки призначений для електроенергії, пари, опалення, а також опріснення морської води. У плані КНР проект АСР100 був названий ключовим. Він розроблений на основі водоводяного реактора АСР1000. Конструкція, що включає 57 тепловиділяючих збірок та вбудовані парогенератори, забезпечена засобами пасивної безпеки та буде встановлена під землею [11].

Реактор САР200 може використовуватися для ядерної когенерації, а також як додаткове джерело енергії на великих АЕС або для заміни міських електростанцій, що працюють на викопному паливі. Китайська генеральна корпорація атомної енергетики (CGN) ще з 2009 р. розпочала опрацювання концепції плавучого реактора АСР50S, у 2014 р. було представлено закінчений технічний проект. У 2015 р. проект нового ММР було затверджено та включено до програми розвитку експериментальних реакторів у КНР. Малий реактор АСР50S спеціально розроблений для експлуатації в морських умовах, а саме, для розміщення на островах, нафтобурових платформах та атомних кораблях. Реактор АСР50S – економічний та екологічно чисте джерело енергії, який може використовуватися для вироблення тепла та опріснення води, що дозволить задовольнити потреби персоналу нафтобурових платформ та острівних мешканців у питній воді [13], [14].

Російська Федерація.

У Росії реалізується глобальна програма розробки та будівництва ММР, у межах якої створено і плануються для будівництва три реакторні установки: РІТМ-200, РІТМ-200М та КЛТ-40С. В країні розробляється власний проєкт модульного свинцево-вісмутowego реактора – СВБР-100. СВБР-100 – приклад успішної конверсії технології, що застосовувалася на підводних човнах ВМФ СРСР [14].

Реактор КЛТ-40С, який є водо-водяним був розроблений для установки на плавучу АЕС, в тому числі і на криголам, що експлуатуються в суворих північних умовах. Складання, перевірка та підготовка реакторів до роботи здійснюються на верфі, а розміщення можливе у будь-якому прибережному регіоні. Передбачувані сфери застосування: когенерація електроенергії та тепла для віддалених населених пунктів, що не підключені до енергомереж, а також виробництво електроенергії на бурових платформах та опріснення води. Плавучий енергоблок КЛТ-40С знаходиться на завершальній стадії будівництва та має бути введений в експлуатацію до 2022 р. Також, чотири реакторні установки РІТМ-200 вже встановлено на криголамах «Арктика» та «Сибір» [13], [14].

Наразі єдиною у світі вже працюючою атомною станцією малої потужності є плавучий енергетичний блок (ПЕБ) «Академік Ломоносов». Заплановано збудувати п'ять модернізованих ПЕБів (МПЕБ). Там будуть інші ніж на плавучій атомній теплоелектростанції реактори – не КЛТ-40, а РІТМ-200С. На кожному МПЕБ буде по два РІТМ-200С електричною потужністю 55 МВт кожен. Після МПЕБів буде створено оптимізований плавучий енергоблок. Його основні відмінності від МПЕБів – менші габарити корпусу та нове компонування. Там також планують встановити РІТМ-200С, але можливе і встановлення більш потужного реактора РІТМ-400 електричною потужністю 200 МВт. Атомні станції малої потужності з когенерацією теплової та електроенергії обговорюються з урядом Камчатки [11].

Промислова експлуатація малого реактора РІТМ-200 має розпочатися найближчим часом. Оскільки її модульна конструкція з різними варіантами комплектації дозволяє виробляти електроенергію в невеликому (100 МВт) або великому (до 300 МВт) об'ємі. РІТМ-200 спочатку призначався для встановлення на криголамах, причому чотири блоки вже встановлені на двох судах. Будівництво першого наземного реактора РІТМ-200 має розпочатися у 2022 р., а введення в експлуатацію очікується у 2025 р. [14].

Великобританія.

Рада з ядерної промисловості Великобританії у 2018 р. представила нову програму розвитку ядерної галузі, у якій наголошувалось на перспективі технологій ММР. Розглядаються такі ММР, як: SEALER від LeadCold, SSR від Moltex Energy Limited, ARC-100 від Advanced Reactor Concepts LLC, U-Battery від U-Battery Developments Ltd, а також ММР від Ultra Safe Nuclear Corporation. Окрім генерації електроенергії, малі реакторні установки будуть призначені для роботи в режимах пікового навантаження та слідування за

навантаженням, вироблення технологічного та низькопотенційного тепла, виробництва водню та опріснення води [14].

У публікації [11] вказано, що уряд Великобританії оголосив про розвиток високотемпературних газових реакторів (HTGR). HTGR вироблятиме низьковуглецевий, або «зелений», водень, а також тепло, яке допоможе декарбонізувати металургію, хімічну промисловість, виробництво цементу, паперу, скла та централізоване тепlopостачання. Демонстраційний блок може бути запущений на початку 2030 р. [11].

Утворений компанією Rolls-Royce британський консорціум з розробки ММР займається створенням проекту АЕС для Великобританії. Британські ММР потужністю 400–450 МВт створюються на основі реакторів PWR, призначених головним чином для генерації електроенергії, але вони здатні виробляти тепло і функціонувати в режимі когенерації. Очікується, що перша така установка буде введена в промислову експлуатацію у 2030 р. [14].

Отже, на підставі аналізу наукової літератури та онлайн джерел було досліджено сучасний стан та перспективи використання ММР в різних країнах світу, у яких вже розпочато проектування чи будівництво ММР: США, Канада, Австралія, Аргентина, Великобританія, Росія, Китай та ПАР. Першочергово у цих країнах на рівні уряду було оголошено про цілеспрямовані державні програми щодо модернізації енергетичної галузі, зокрема щодо проектування і будівництва ММР. Також, було виділено державне фінансування на розробку концепцій та проектів ММР. Наступними кроками було використання державних коштів та залучення приватних інвесторів для розробки і будівництва ММР.

Висновки. В умовах глобального потепління і розвитку різних технологій багатьох країн світу шукають альтернативні джерела для виробництва електроенергії, опріснення води та заміни застарілих атомних реакторів. Одними з таких, що вже довели свою ефективність, економічну доцільність та екологічну безпечність, є ММР потужністю до 300 МВт(ел). ММР є вдосконаленими інженерно-технічними засобами, які можливо застосовувати для роботи одномодульних чи багатомодульних станцій. Також, ці малі реактори виготовляються на заводах і доставляються енергокомпаніям для подальшого монтажу. Наразі для широкої громадськості вже представлено понад 50 різних проектів та концепцій ММР. Звичайно, більшість цих проектів ще перебуває на різних стадіях розробки і ліцензування, і лише декілька проектів мають бути побудовані в найближчі роки.

В результаті аналізу відкритих джерел та наукової літератури визначено, що наразі лише чотири ММР знаходяться на етапах будівництва, зокрема у таких країнах як: Китай, Росія та Аргентина. МАГАТЕ здійснює координацію проектів спрямованих на розробку різних типів ММР та виконує заохочувальну політику у своїх країнах-членах з метою сприяння впровадженню ММР. Було досліджено сучасний стан та перспективи використання малих модульних реакторів в різних країнах світу у яких вже розпочато проектування чи будівництво малих модульних реакторів.

Систематизація досвіду розробки та будівництва ММР виконана за континентами, та розглянута у таких країнах, як: Канада, США, Аргентина, Австралія, ПАР, Китай, Росія та Великобританія.

Також в результаті аналізу міжнародного досвіду з проектування та будівництва ММР зроблено такі узагальнення: малі реактори є конструктивним варіантом, що забезпечує задоволення потреб у гнучкому виробництві електроенергії для різних користувачів і застосувань; ММР мають унікальні характеристики з точки зору ефективності, економічності та гнучкості; ММР, що встановлюються на одноблочних або багатоблочних станціях, відкривають можливості поєднання ядерних з альтернативними джерелами енергії, включаючи відновлювані джерела; особливу увагу потрібно приділити питанням підготовки персоналу для управління ММР; зменшення часових витрат на виготовлення і встановлення малих реакторів (і відповідно на їх заміну чи оновлення); ММР можуть бути використані разом з відновлюваними джерелами енергії та підвищувати їх ефективність у рамках гібридної енергетичної системи; ММР відіграють ключову роль у переході до екологічно чистої енергетики, а також допомагають країнам досягти цілей у сфері сталого розвитку.

- [1] C.P. Pannier, R. Skoda, Comparison of small modular reactor and large nuclear reactor fuel cost, *Energy Power Eng.* (2014) 82–94, <https://doi.org/10.4236/epe.2014.65009>, 06 (05).
- [2] D. Owusu, M.R. Holbrook, P. Sabharwall, Regulatory and licensing strategy for microreactor technology, *Tech. rep.* (Aug. 2018), <https://doi.org/10.2172/1565916>.
- [3] Hussein, Esam M.A. (2020). Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review. *Physics Open*, 5, 100038 <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038>.
- [4] IAEA, Advances in small modular reactor technology developments, in: (2018), International Atomic Energy Agency, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS), 2018. https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf.
- [5] IAEA, ALLEGRO (European Atomic Energy Community, Europe), *Tech. Rep.*, International Atomic Energy Agency. URL <https://aris.iaea.org/PDF/ALLEGRO.pdf>.
- [6] International Atomic Energy Agency, Small modular reactors. <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>, December 23, 2019.
- [7] J. Wallenius, S. Qvist, I. Mickus, S. Bortot, P. Szakalos, J. Ejenstam, Design of SEALER, a very small lead-cooled reactor for commercial power production in offgrid applications, *Nucl. Eng. Des.* 338 (2018) 23–33, <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.07.031>.
- [8] Miklos Gaspar. Безопасность и лицензирование малых модульных реакторов. Сайт Международного агентства по атомной энергии. URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/bezopasnost-i-licenzirovanie-malyh-modulnyh-reaktorov>.
- [9] What is a nuclear microreactor? www.energy.gov/ne/articles/what-nuclear-microreactor.

- [10] Азаров С.И., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Обзор стану світової атомної енергетики. Проблеми загальної енергетики. 2019. № 1(56). С. 24–30.
- [11] Данилова Татьяна. Лед тронулся: к строительству малых реакторов. Сайт атомный эксперт. №9, 2021. https://atomicexpert.com/the_ice_has_broken_to_the_construction_of_small_reactors.
- [12] Джоанн Лю. Что такое малые модульные реакторы (ММР)? (Публикация 12.2021). <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/chto-takoe-malye-modulnye-reaktory-mmr>.
- [13] Малі модульні реактори. <https://www.iaea.org/ru/temy/malye-modulnye-reaktory>.
- [14] Малые модульные реакторы: глобальные перспективы. 2019. https://atomicexpert.com/small_modular_reactors.
- [15] Семенов В., Щепетина Т., Попов С. Развитие малых атомных станций: задачи и перспективы. 14.10.2021. <https://nangs.org/news/renewables/nuclear/razvitiemalykh-atomnykh-stantsij-zadachi-i-perspektivy>.

ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Дисперсійний аналіз є статистичним методом аналізу, що може використовуватися для аналізу даних моніторингу забруднення атмосферного повітря, що одночасно залежать від одного чи декількох факторів, з метою вибору найбільш впливових факторів та оцінювання їхнього впливу на дані моніторингу.

Розглянемо вплив одного фактору A_i при його k різних значеннях на дані моніторингу. Нехай на при одному значенні фактору A проведено n вимірювань, таким чином отримуємо набір даних (x_1, x_2, \dots, x_n) . У випадку із k -значень фактору A_i , можна сформулювати матрицю M , що комплексно характеризує експериментальне дослідження:

$$M = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{i1} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{i2} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{in} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Через X_k позначимо суму елементів, що знаходяться у одному стовпчику, та відповідають результатам вимірювання при k -значенні A фактору:

$$X_k = \sum_{i=1}^n x_{kn}.$$

Із твердження про рівність дисперсій, що характеризують зміну даних на кожному із рівнів A_i , слідує що

$$S_1^2 = S_2^2 = \dots = S_k^2, \quad (2)$$

де

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Для порівняння значень дисперсій необхідно перевірити нульову гіпотезу $H_0: S_1^2 = S_{i+1}^2$ проти альтернативи $H_0: S_1^2 \neq S_{i+1}^2$ (для $i = 1, 2, \dots, k-1$). Це можна зробити за допомогою наступних критеріїв:

1) критерій Бартлета

$$M = n \ln \left\{ \sum_{i=1}^k (i-1) S_i^2 / n \right\} - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln S_i^2, \quad (4)$$

де $n = \sum_{i=1}^k (n_i - 1)$. У випадку підтвердження гіпотези H_0 та при $n_i > 3$ ($i = 1, 2, \dots, k$), величина

$$B = M / \left(1 + \sum_{i=1}^k \left(\frac{n - n_i + 1}{n(n_i - 1)} \right) \right) / 3(k-1) \quad (5)$$

має розподіл χ^2 з $f = k - 1$ степенями свободи;

2) критерій Кохрана

$$g = \max_{1 \leq i \leq k} S_i^2 / \sum_{i=1}^k S_i^2. \quad (6)$$

Якщо $g < g_\alpha(k, n)$, де

$$g_\alpha(k, n) = \frac{F_{k+1-\alpha/k} [n-1; (n-1)(k-1)]}{k-1 + F_{k-1+\alpha/k} [n-1; (n-1)(k-1)]}, \quad (7)$$

то гіпотеза H_0 підтверджується;

3) критерій Неймана-Пірсона

$$H = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_i^2 / \left(\prod_{i=1}^k S_i^2 \right)^{1/k}. \quad (8)$$

Якщо $H < H_\alpha$, то гіпотеза H_0 підтверджується (H_α є табличним значенням);

4) критерій Бліса-Кохрана-Тьюкі

$$c = \max_{1 \leq i \leq k} \omega_i / \sum_{i=1}^k \omega_i, \quad (9)$$

де $\omega_i = \max_{1 \leq j \leq n} x_{ji} - \min_{1 \leq j \leq n} x_{ji}$ – розмах i -ї вибірки. Якщо $c < c_\alpha(n, k)$, то гіпотеза H_0

підтверджується ($c_\alpha(n, k)$ є табличним значенням);

5) критерій Хартлі

$$h = \max_{1 \leq i \leq k} S_i^2 / \min_{1 \leq i \leq k} S_i^2, \quad (10)$$

Якщо $h < h_\alpha(n, k)$, то гіпотеза H_0 підтверджується ($h_\alpha(n, k)$ є табличним значенням);

6) критерій Кедуела-Леслі-Брауна

$$K = \max_{1 \leq i \leq k} \omega_i / \min_{1 \leq i \leq k} \omega_i, \quad (11)$$

Якщо $K < K_\alpha(n, k)$, то гіпотеза H_0 підтверджується ($K_\alpha(n, k)$ є табличним значенням).

Після підтвердження гіпотези H_0 ($S_i^2 = const$ при $i=1, 2, \dots, k$) необхідно знайти оцінку дисперсії S_0^2 , що характеризує значення x_{ij} поза впливом фактору A :

$$S_0^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_i^2 \frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = \frac{1}{k(n-1)} \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \right].$$

Загальна вибіркова дисперсія результатів вимірювань знаходиться за формулою

$$S^2 = \frac{1}{kn-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2, \quad (13)$$

де $\bar{x} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i / k$, $\bar{x}_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} / n$.

Звідси слідує, що

$$S^2 = \frac{1}{kn-1} \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{kn} \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij} \right)^2 \right). \quad (14)$$

На наступному етапі доцільно ввести оцінку дисперсії S_A^2 , що характеризує зміну середніх \bar{x}_i під впливом фактору A :

$$S_A^2 = \frac{n}{k-1} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2. \quad (15)$$

При оцінюванні дисперсії S_A^2 необхідно використовувати $(k-1)$ ступенів вільності. Таким чином, перевірка про ступінь впливу фактору A на зміну середніх значень досліджуваної величини може здійснюватися шляхом порівняння дисперсій S_0^2 та S_A^2 . Вплив фактору A на досліджувану величину є значим з деякою ймовірністю α , якщо відношення S_A^2/S_0^2 задовольняє наступну умову:

$$S_A^2/S_0^2 > F_\alpha [k-1; k(n-1)], \quad (16)$$

де $F_\alpha (f_1, f_2)$ – α -квантиль F -розподілу з f_1 та f_2 ступенями вільності.

Якщо вплив фактору A є незначним (при $S_A^2/S_0^2 \leq F_\alpha [k-1; k(n-1)]$), то для оцінювання дисперсії S_0^2 може використовуватися більш точна оцінка S^2 , що має $(kn-1)$ ступенів вільності (замість $k(n-1)$ для оцінки S_0^2).

- [1] Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
- [2] Zaporozhets A.O. Correlation Analysis Between the Components of Energy Balance and Pollutant Emissions / A.O. Zaporozhets // Water, Air, & Soil Pollution. - 2021. - Vol. 232. - №3. - 114. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05048-9>

В.О. Артемчук, О.В. Луньова, О.О. Попов,
А.В. Яцишин, І.П.Каменева, Ю.О. Кириленко

ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Указом Президента України №111/2021 від 23 березня 2021 року [1] введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації».

Згідно [1], розглянувши комплекс питань, пов'язаних із викликами та загрозами національній безпеці України в екологічній сфері, беручи до уваги високий рівень ризиків для природних екосистем та здоров'я населення, зумовлений значним забрудненням довкілля через техногенне навантаження, нераціональне використання природно-ресурсного потенціалу, значні обсяги накопичених в Україні відходів, загострення екологічних та техногенних проблем у районах, прилеглих до зони конфлікту на Донбасі, недостатній рівень адаптаційних можливостей галузей економіки, систем життєзабезпечення до негативних процесів зміни клімату, неналежний стан системи державного моніторингу навколишнього природного середовища, єдиної державної системи захисту, Рада національної безпеки і оборони України прийняла рішення щодо, зокрема, необхідності:

- 1) внесення змін до Закону України "Про охорону атмосферного повітря" стосовно запровадження обов'язкових автоматизованих систем контролю викидів забруднюючих речовин, визначення якості атмосферного повітря та оцінки впливу його забруднення на здоров'я та життєдіяльність населення;
- 2) вдосконалення економічного механізму фінансування заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;
- 3) визначення пріоритетів формування національної екологічної мережі у Генеральній схемі планування території України;
- 4) розроблення та затвердження методичних рекомендацій з оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря;
- 5) розроблення та затвердження концепції державної науково-технічної програми у сфері зміни клімату;
- 6) розроблення та затвердження національного плану з енергетики та зміни клімату на період до 2030 року;
- 7) розроблення та затвердження порядку ведення Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів; порядку державної реєстрації установок в Єдиному реєстрі з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів.

Окремо слід виділити пункт 6 [1], згідно з яким для створення ефективної системи державного моніторингу навколишнього природного середовища з використанням технологій дистанційного зондування Землі,

контролю космічного простору, геофізичних, геоінформаційних технологій необхідно розробити та затвердити стратегію розвитку гідрометеорологічної діяльності в Україні на період до 2030 року; концепцію державної цільової екологічної програми моніторингу довкілля України; положення про регіональні центри моніторингу довкілля; закони щодо державної системи моніторингу довкілля, передбачивши, зокрема, положення стосовно відповідальності за організацію та функціонування системи в режимах повсякденного функціонування, підвищеної готовності, реагування на аварійні ситуації, відстеження у відновлювальний (реабілітаційний) період, а також інформаційну взаємодію всіх ланок системи та на всіх рівнях її управління; національного реєстру викидів і перенесення забруднювачів тощо.

Відкрита військова агресія РФ відтермінувала виконання деяких пунктів, проте слід відзначити, що 26 квітня 2022 р. Кабінет Міністрів України схвалив проект закону «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля», який покликаний створити єдину державну систему моніторингу довкілля. Усі показники моніторингу довкілля стануть частинами єдиної загальнодержавної мережі. Вона включатиме інформацію про стан атмосферного повітря, поверхневих, підземних і морських вод, земель, ґрунтів, лісів і біорізноманіття. Єдина система відповідатиме міжнародним стандартам екологічного управління, в тому числі вимогам і директивам Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом. Реформування системи державного моніторингу довкілля значно розширить можливості міжнародної співпраці України у сфері захисту довкілля. Однією з ключових інновацій також стане гнучкість оновленої системи моніторингу довкілля і синхронізація з актуальними потребами суспільства. На основі даних моніторингу органи влади зможуть приймати обґрунтовані управлінські рішення та ефективніше враховувати екологічну складову під час розроблення та затвердження документів державного планування [2]. Крім того, в даному контексті слід відзначити, що Міндовкілля розробило Методику, за якою розраховуватимуть обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від російських бомбардувань, а також розмір завданої такими викидами шкоди [3].

- [1] Указ Президента України №111/2021 від 23 березня 2021 року. Режим доступу <https://www.president.gov.ua/documents/1112021-37505>
- [2] Уряд схвалив законопроект, який запустить реформу державної системи моніторингу довкілля. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/39129.html>
- [3] Забруднення повітря від російських бомбардувань: обсяги викидів та завдана збитки розраховуватимуть за спеціальною Методикою. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/39148.html>

А.О. Запорожець, А.Д. Сverdlova, В.О. Артемчук, В.О. Ковач, В.О. Куценко

ВИМІРЮВАЛЬНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА БАЗІ LOW-COST СЕНСОРІВ

Наразі державна система моніторингу забруднення атмосферного повітря в Україні застаріла як з точки зору технічного, так і методичного забезпечення.

В Україні стандарти вимірювання забруднення повітря не оновлювалися більше 30 років, що призвело до поступової деградації системи моніторингу. Хоча в окремих промислових містах частково використовуються відносно нові технічні засоби для вимірювання концентрації різних забруднюючих речовин, отримані ними дані не дозволяють зробити повний висновок про рівень локального забруднення, повний спектр забруднюючих речовин, локалізацію джерел забруднення тощо [1, 2].

Це призвело до необхідності створення сучасних вимірювальних модулів системи моніторингу забруднення атмосферного повітря, здатних генерувати великі масиви даних та вирішувати низку сучасних методичних проблем системи моніторингу.

В роботі [3] авторами детально описано апаратний комплекс вимірювального модулю системи моніторингу стану атмосферного повітря на базі недорогих датчиків. Він призначений для отримання, обробки, накопичення даних, передачі та візуалізації необхідної інформації системи моніторингу стану атмосферного повітря. Наведено схеми підключення різних апаратних елементів вимірювального модуля системи моніторингу забруднення повітря (мікроконтролер STM32F103C8T6, модуль HC-12, модуль SIM800C). Також показано друковану плату в Altium Designer CAD, креслення та компонування друкованої плати.

Таким чином, запропонований технічний прототип вимірювальних модулів системи моніторингу може стати доповненням до існуючої системи моніторингу, або, у разі створення великомасштабної мережі таких засобів, повністю замінити її [2].

- [1] Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
- [2] Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Kameneva, I., Taraduda, D., ... Yatsyshyn, T. (2020). Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*, 10(25), 200303. doi:10.5696/2156-9614-10.25.200303
- [3] A O Zaporozhets, A D Sverdlova, T G Ivaschenko, V O Kovach and V O Artemchuk (2022) Electronic circuits of measuring modules of air pollution monitoring system based on low-cost sensors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (in press)

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ВИГОРОДКИ АКТИВНОЇ ЗОНИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ АЕС

Протягом багатьох десятиріч атомна енергетика забезпечує значну долю загального виробництва електроенергії України, тому стабільне функціонування атомної енергетики є необхідною умовою стабільного економічного розвитку країни. Сьогодні на чотирьох українських АЕС експлуатується 15 блоків з загальною встановленою потужністю 13 835 МВт, що складає близько 26% від сумарної встановленої потужності всіх електростанцій країни.

Енергетичною стратегією України на період до 2030 року планується збільшення протягом 20-річного періоду частки АЕС у сумарному річному виробництві електроенергії в Україні не менше 50%. При цьому, термін експлуатації для більшості енергоблоків АЕС України у 2025 року буде вичерпано. Економічно доцільним є продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС. Технічне обґрунтування продовження терміну експлуатації енергоблоків має базуватися на експериментальних та теоретичних дослідженнях, направлених на контроль та діагностування технічного стану елементів конструкції енергоблоків.

Особлива увага приділяється корпусу, шахті і вигородці реактора, які є одними з найвідповідальніших за відведення теплоти з активної зони і незамінюваних протягом всього періоду експлуатації елементів конструкції реактора. Ключовим методом контролю технічного стану вигородки є вимірювання і контроль змін розмірів вигородки.

Контроль геометричних параметрів вигородки реактору є нетривіальним технічним завданням. Розмір об'єкта більш ніж 4x3 м, вага – 35 т. Особливістю експлуатації вигородки є наявність сильного нейтронного випромінювання і високих температур, які призводять до розпухання металу вигородки.

Потенційну загрозу представляють наступні наслідки радіаційного розпухання вигородки: 1) зменшення в локальних місцях конструктивного зазору між внутрішньою поверхнею вигородки і поверхнею оболонок твелів, закріплених в периферійних касетах тепловиділяючої збірки, до контактного пошкодження оболонок твелів; 2) зменшення зазору між зовнішньою поверхнею вигородки і внутрішньою поверхнею шахти реакторної установки, що призводить до погіршення умов охолодження вигородки та шахти. Тому потрібна мікронна точність контролю її геометричних розмірів.

Відомі системи, наприклад: СТС-К-ВКУ АО "Діаконт", РФ, м. Санкт-Петербург (телевізійне оптичне сканування), ССИ ВКУ; ООО "ИК "АМЭ" Україна, м. Київ (ультразвуковий датчик відстані), система NRI-Rez Чехія, м. Ржеж (контактний датчик відстані), не забезпечують виконання вимог, що висуваються до обладнання для контролю геометричних параметрів вигородки реактору АЕС (є проблеми з позиціонуванням вимірювальної системи всередині вигородки атомного реактора, забезпечення точності та діапазону вимірювання, низькою продуктивністю, рівнем автоматизації великої кількості дистанційних вимірювань, пристосованості до роботи в непрозорому агресивному середовищі – розчині борної кислоти та в умовах високого рівня радіаційного випромінювання).

Позитивним кроком в подоланні вказаних проблем є розроблення комплексу ВК-5 технічних засобів вимірювання геометричних розмірів вигородки активної зони ВКП реакторних установок ВВЕР-1000 (ВП «КБ «Атомприлад» ДП «НАЕК «Енергоатом»). Хоча апробація ВК-5 пройшла успішно, проте актуальною залишається, зокрема, задача розроблення науково-обґрунтованої методики коректних вимірювань геометричних розмірів вигородки активної зони ядерних реакторів АЕС в умовах деградації характеристик датчиків і наявності перешкод, а також визначення та формування вимог до спеціальних технічних засобів, які призначені для використання у процесі виконання заходів продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС понадпроектний строк.

В.В. Станиціна, О.Ю. Богославська, В.О. Артемчук

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Україна взяла на себе ряд зобов'язань щодо охорони навколишнього середовища та зменшення викидів забруднюючих речовин, в т.ч. і парникових газів.

В Україні на початку 2020 р. було презентовано проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 р. [5], яка ставить перед собою цілі, близькі до цілей European Green Deal. Згідно проекту Концепції, енергоефективність та відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стають визначальними напрямками енергетичного переходу України. Частка ВДЕ повинна збільшитися до 70% до 2050 року, але при цьому її вартість повинна бути збалансована та економічно обґрунтована [6].

Таким чином, одним з шляхів зменшення викидів діоксиду вуглецю є заміщення викопних видів палива для виробництва теплоенергії біопаливами та тепловими насосами. Показником, який дозволяє порівнювати економічну ефективність різних теплогенеруючих джерел, є середньозважена собівартість теплової енергії за життєвий цикл - LCON [1,3].

В попередніх дослідженнях визначалась LCON для різних котлів на біопаливі та теплових насосів [2, 7], проте ціни на паливо-енергетичні ресурси, теплогенеруюче та допоміжне обладнання і його обслуговування постійно змінюються. Влітку 2021 р. відбулось стрімке зростання ціни на природний газ на біржах в ЄС та в Україні [8]. Суттєво зросли ціни і на біопаливо, наприклад, деревні пелети восени 2020 р. коштували 2100 грн, а у січні 2022 р – 5-6 тис грн. Вартість твердопаливних котлів потужністю 0,5 та 1 МВт за цей же час зросла на 20-30%, наприклад твердопаливний котел Gefest Profi-P 1000 потужністю 1 МВт подорожчав з 388 до 465 тис. грн. Вартість теплоенергії, яка виробляється на імпортному обладнанні, зрештою залежить від курсу іноземних валют, які теж можуть швидко і стрімко змінюватись.

Також, згідно Податкового кодексу України, збільшуються і ставки екологічного податку – з 1.01.2022 р. ставка за викид CO₂ зросла з 10 до 30 грн/т. В Україні підприємства, які генерують енергію, спалюючи біопаливо, є платниками податку за викиди CO₂ [4], тож в поточному році і для них суттєво зріс екологічний податок.

Невизначеність та часта суттєва зміна вихідних даних для розрахунку показника LCON для оцінки доцільності та перспективності впровадження теплогенеруючого обладнання вимагає проведення додаткових досліджень, зокрема використання інших показників.

- [1] Baez, M.J., Larriba Martínez, T., 2015. Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. No. D.3.1. Creara, Madrid, Spain
- [2] Bogoslavskaya O., Stanysina V., Artemchuk V., Garmata O., Lavrinenko V. (2021) Comparative Efficiency Assessment of Using Biofuels in Heat Supply Systems by Levelized Cost of Heat into Account Environmental Taxes. In: Zaporozhets A., Artemchuk V. (eds) Systems, Decision and Control in Energy II. Studies in Systems, Decision and Control, vol 346. pp. 167-185. Springer, Cham.
- [3] Proiefed Costs of Generating Electricity. International Energy Agency, (2010).
- [4] Законопроект щодо звільнення біопалива від податку CO₂ – ще один крок для розвитку української біоенергетики, - Держенергоефективності. 23.10.2020. Урядовий портал. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <https://www.kmu.gov.ua/news/zakonoprojekt-shchodo-zvylnennya-biopalyva-vid-podatku-so2-shche-odin-krok-dlya-rozvitku-ukrayinskoyi-bioenergetiki-derzhenergoefektivnosti>, дата доступу 23 червня 2021 р.
- [5] Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. [Електронний ресурс] // Сайт Міндовкілля <https://mepr.gov.ua/news/34424.html>
- [6] Міністерство перегляне Концепцію «зеленого» енергетичного переходу – Буславець [Електронний ресурс] // Укрінформ. 24.11.2020. Режим доступу : . Режим доступу : <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3142287-minenergo-pereglane-konceptsiu-zelenogo-energeticnogo-perehodu-buslavec.html>
- [7] Станиціна В.В. Визначення середньої вартості теплової енергії за життєвий цикл теплонасосної станції на артезіанських водах. Зб. тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 15 травня 2019 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2019. С. 67-68.
- [8] Ціна газу: Україна та Європа. Огляд ринку 4 – 8 жовтня 2021 року [Електронний ресурс] // Українська енергетична біржа. – 11.10.2021. – Режим доступу : <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/tsina-gazu-ukraina-ta-evropa-oglyad-rinku-4-8-zhovtnya-2021-rok/>

ВАРІАНТИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ РЕВЕРС-ІНЖИНІРИНГУ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Нині спостерігається негативна тенденція до росту кількості кібератак як державних, так і приватних організацій [1]. Їхня реалізованість здебільшого досягається розробленням і впровадженням шкідливого програмного забезпечення. Цим підтверджується його застосовність як однієї з найбільш небезпечних загроз інформаційній і кібербезпеці [2], зокрема. Серед способів протидії впровадженню шкідливого програмного забезпечення виокремлюється реверс-інжиніринг [3]. Тому визначення варіантів використання відповідного програмного засобу є актуальним.

Варіанти використання програмного засобу реверс-інжинірингу шкідливого програмного забезпечення відображаються діаграмою за допомогою уніфікованої мови моделювання (UML). Для їх визначення побудовано функційну модель зазначеної діяльності у графічній нотації IDEF0 [4]. На основі контекстної діаграми та її декомпозиції виокремлено фахівця з кібербезпеки як основну дійову особу (ектора). Серед функційних можливостей ектору надаються насамперед дослідження роботи, аналізування коду, а також створення сигнатур шкідливого програмного забезпечення за YARA-правилами. «Аналізування коду шкідливого програмного забезпечення» додатково включає в себе декілька варіантів використання, а саме: отримання загальної інформації про шкідливе програмне забезпечення (наприклад, тип та версія компілятора, мова програмування, адреса початку виконання програми, бібліотеки), аналізування бінарного коду, аналізування PE-файлу. Як наслідок, формуються захисні механізми, впровадження яких направлене на протидію шкідливому програмному забезпеченню відповідно до виокремлених сигнатур.

Отже, визначення варіантів використання програмного засобу реверс-інжинірингу шкідливого програмного забезпечення дозволить відобразити його функційні можливості, з одного боку. Тоді як з іншого – створити передумови для побудови моделей його логічної і фізичної структур у графічній нотації UML.

- [1] Урядова команда реагування на комп'ютерні надзвичайні події України. Новини. URL: <https://cert.gov.ua/articles>. (дата звернення: 30.04.2022).
- [2] ISO/IEC 27032:2012. Information technology. Security techniques. Guidelines for cybersecurity. [Valid from 2012-07-16; revised 2018-12-13]. URL: <https://www.iso.org/standard/44375.html> (accessed on: 30.04.2022).
- [3] Voloshin D. Functional approach to reverse engineering malware. Інформаційні технології та безпека : матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 9 грудня 2021 р. Київ, 2021. С. 230–231.
- [4] Цуркан В., Волошин Д. Функційна модель реверс-інжинірингу шкідливого програмного забезпечення. Information Technology and Security. 2021. Vol. 9, Iss. 2. P. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2021.9.2.249915>.

ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАЗОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Енергетика світової спільноти наразі переживає фазу кардинальної зміни структури та обсягів використання первинної енергії. Загальний світовий науково-технічний прогрес забезпечує можливість конкурентного використання у промислових обсягах відновлюваних джерел енергії, у першу чергу це стосується вітрової та сонячної енергії. Прогнозується, що у структурі використовуваних первинних енергоресурсів викопне паливо у перспективі до 2040 – 2050 рр. не буде перевищувати 50% від загальної їх потреби у первинній енергії, інша ж її половина забезпечуватиметься енергією вітру, Сонця та менш потужними відновлюваними і нетрадиційними джерелами.

Вже зараз введення значних обсягів ВДЕ в структуру ОЕС України без проведення відповідних досліджень з оцінки можливих ризиків та вживання відповідних заходів негативно впливає на її енергетичну ефективність. Надання преференцій для СЕС та ВЕС у вигляді підвищених тарифів та їх пріоритетної диспетчеризації при покритті графіків електричних навантажень призводить до простою блоків, зокрема атомних електростанцій, та вимушеного споживання більш дорогої електроенергії [1].

Звільнення власників ВДЕ від необхідності забезпечення нормативної частоти в енергосистемі викликає збільшення витрат на теплових станціях, що виконують функції регуляторів.

В технологічному плані в останнє десятиліття здійснений «прорив» у розробленні та використанні накопичувачів електричної енергії надвеликих потужностей і ємностей [2].

У деяких промислово розвинених країнах вже наразі у структурі генеруючих потужностей їх енергосистем використовуються електричні накопичувачі (акумуляторні батареї), які при роботі в автономному режимі здатні забезпечити потужність 100 МВт протягом 10 – 20 годин.

Вже зараз питомі капіталовкладення таких батарей разом з перетворювачами частоти та напруги є співставними з питомими капіталовкладеннями устаткування теплових електростанцій (ТЕС). З часом питомі капіталовкладення накопичувачів стрімко зменшуються, а для ТЕС цей показник зростає.

Накопичувачі електричної енергії на базі акумуляторних батарей мають високу швидкодію та можуть використовуватися для надання вторинних послуг енергосистемі, знижуючи вартість таких послуг для енергосистеми та підвищуючи її надійність.

Впровадження в структуру енергосистеми України потужностей таких накопичувачів дозволить використовувати їх в якості регуляторів частоти, для балансування потужності енергосистеми, та для вирівнювання графіків електричних навантажень. Це дозволить раціональніше використовувати блоки базової генерації, насамперед атомної генерації, що підвищить як ефективність їх використання так і енергосистеми в цілому.

- [1] Україна наполовину скоротила потужності АЕС на користь дорожчих «зеленої» та вугільної енергетики. Громадське. Режим доступу: <https://hromadske.ua/posts/ukrayina-napolovinu-skorotila-potuzhnosti-aes-na-dorozhchih-zelenoyi-ta-vugilnoyi-energetiki>
- [2] Electricity and Energy Storage (Updated August 2021). World Nuclear Assotiation. Режим доступу: <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>

ПОРІВНЯННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТОЧНОСТІ ДЕТЕКТОРІВ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

Для розпізнавання об'єктів все ще активно використовується метод HOG (Histogram of Oriented Gradients) [1], який умовно можна розділити на кілька кроків:

1. Sampling positive images
2. Sampling negative images
3. Training a Linear SVM
4. Performing hard-negative mining
5. Re-training Linear SVM за допомогою hard-negative samples
6. Evaluating classifier on test dataset

Це мінімум кроків, необхідних для створення детектора об'єктів з використанням HOG. Існують також розширення даного методу, наприклад deformable parts model [2] і Exemplar SVM [3]. Однак незалежно від того, який із запропонованих методів буде використаний, ми отримуємо кілька рамок, обмежуючих оточений об'єкт на зображенні. Щоб обробити видалення обмежуючих рамок, які відносяться до одного і того ж об'єкта, ми застосовуємо метод придушення без максимуму, який називається - Non-Maxima Suppression (NMS) [4].

При тестуванні детекторів об'єктів на вбудовуваних платформах весь акцент будується на отриманні максимальної продуктивності, тому в даній роботі запропоновано використовувати для аналізу метод blazing fast NMS [5], який працює у 109 разів швидше за оригінальний NMS за рахунок усунення внутрішнього циклу. На жаль, такий підхід може незначно позначатися на mAP (оцінка моделей за метрикою середньої значимої точності), але гарантує, що у нас немає сторонніх обмежуючих рамок.

Результатом роботи став аналіз сімейств найпопулярніших алгоритмів виявлення об'єктів у реальному часі для вбудовуваних платформ: R-CNN, SSD MobileNet, YOLO. Важливо відзначити, що вибір алгоритму безпосередньо залежить від варіанта та мети його використання.

Для вимірювання точності визначення об'єктів використовується широко відома метрика Intersection over Union (IoU):

$$IoU = \frac{AoO}{AoU}$$

де *AoO* – площа перетину, а *AoU* – площа об'єднання.

Проте метрика IoU має серйозну слабкість: якщо $|AoO| = 0$, то $IoU = 0$. У цьому випадку IoU не визначає, чи знаходяться дві форми поблизу один від одного, чи вони дуже далеко. Для вирішення цієї проблеми, а також отримання найбільш точних результатів у роботі пропонується використання метрики Generalized Intersection over Union (GIoU). Метрика GIoU зберігає основні властивості IoU, виправляючи його слабкі місця [6]:

$$GIoU = IoU - \frac{|C \setminus AoU|}{|C|},$$

де C – найменший об'єкт, що охоплює дві форми.

Тестування проводиться з використанням великомасштабного набору даних для виявлення та сегментації - MS COCO (Common Objects in Context), який складається з 80 міток, включаючи: людину, автомобілі, літаки, тварин та ін. Всі моделі були навчені саме на цій мережі.

У якості цільової платформи було використано вбудований одноплатний комп'ютер NVIDIA Jetson Nano Developer Kit (rev.2) з продуктивністю 472 GFLOPs. Тестування проводиться з використанням ресурсів графічного прискорювача та CUDA ядер.

Запуск моделі N-YOLOv5 (Nano) був здійснений за допомогою бібліотеки JetsonYolo. Кордон реального часу умовно приймається як ≥ 20 FPS (інференція кадрів на секунду). Отримані результати точності та FPS представлені у таблицях 1-3.

Таблиця 1

Результати тестування моделей сімейства R-CNN

Модель	Розмір	GIoU 0.5:0.95	GIoU 0.5	FPS
Faster R-CNN	300x300	0.215	0.421	1.12
Faster R-CNN	600x600	-	-	< 1

Таблиця 2

Результати тестування моделей сімейства SSD MobileNet

Модель	Розмір	GIoU 0.5:0.95	GIoU 0.5	FPS
SSD Mobilenet-V2	300x300	0.224	0.383	38.2
SSD Mobilenet-V2	480x272	0.268	0.465	26.4
SSD Mobilenet-V2	960x544	0.381	0.542	8.15

Результати тестування моделей сімейства YOLO

Модель	Розмір	GIoU 0.5:0.95	GIoU 0.5	FPS
YOLOv3	288x288	0.330	0.599	8.17
YOLOv3	416x416	0.372	0.662	4.91
T-YOLOv3	288x288	0.075	0.155	35.82
T-YOLOv3	416x416	0.095	0.198	25.56
YOLOv4	288x288	0.370	0.591	7.92
YOLOv4	416x416	0.452	0.696	4.61
T-YOLOv4	288x288	0.177	0.343	36.3
T-YOLOv4	416x416	0.194	0.388	25.8
N-YOLOv5	288x288	0.254	0.411	13.4
N-YOLOv5	416x416	0.284	0.462	7.02

Отже, проведені дослідження показали, що детектори SSD MobileNet-V2 та детектори Tiny YOLO пройшли поріг реального часу і показали хороші результати з інференції кадрів за секунду. Хоча ці детектори і працюють швидко і здатні працювати на вбудованих системах, найбільша проблема, з якою ми стикаємося - це точність: менший розмір моделі призводить до істотного зменшення точності. Наприклад, Tiny YOLOv4 досягає лише 0.388 (GIoU 0.5) за набором MS COCO, тоді як старші моделі досягають 0.696 (GIoU 0.5). Також при тестуванні Tiny YOLO було виявлено, що він чудово справляється з деякими зображеннями та відеопотоком, а з іншими повністю непридатний для використання. Зокрема, коли нам необхідно визначити об'єкт маленьких розмірів, то детектори YOLO і SSD MobileNet справляються набагато гірше, ніж детектори сімейства R-CNN. Це зумовлено особливістю моделі R-CNN, а саме – двоетапного детектора. На жаль, моделі сімейства R-CNN виявилися не придатними для тестованої системи і не пройшли поріг реального часу за інференцією кадрів, але показали кращу точність порівняно з іншими моделями.

Надалі планується проаналізувати та протестувати в реальному часі такі нові моделі як YOLOR [7], спрощені варіації YOLOv5: YOLOv5n6, YOLOv5s6, YOLOv5m6, YOLOv5l6 та YOLOv5x6, а також нове покоління SSD MobileNet-V3 [8].

- [1] Navneet Dalal, Bill Triggs. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. INRIA Rhone-Alps, France, 2005
- [2] Pedro F. Felzenszwalb, Ross B. Girshick, David McAllester and Deva Ramanan. Object Detection with Discriminatively Trained Part Based Models. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009
- [3] Navaneeth Bodla, Bharat Singh, Rama Chellappa, Larry S. Davis. Soft-NMS - Improving Object Detection With One Line of Code. arXiv preprint arXiv:1704.04503, 2017.
- [4] Tomasz Malisiewicz; Abhinav Gupta; Alexei A. Efros. Ensemble of exemplar-SVMs for object detection and beyond. International Conference on Computer Vision, 2011
- [5] Tomasz Malisiewicz. Blazing Fast nms.m (from exemplar-svm library). Tombone's Computer Vision Blog, 2011
- [6] Hamid Rezatofighi, Nathan Tsoi, JunYoung Gwak, Amir Sadeghian, Ian Reid, Silvio Savarese. Generalized Intersection over Union: A Metric and A Loss for Bounding Box Regression. arXiv preprint arXiv:1902.09630, 2019.
- [7] Chien-Yao Wang, I-Hau Yeh, Hong-Yuan Mark Liao. You Only Learn One Representation: Unified Network for Multiple Tasks. arXiv preprint arXiv:2105.04206, 2021.
- [8] Andrew Howard, Mark Sandler, Grace Chu, Liang-Chieh Chen, Bo Chen, Mingxing Tan, Weijun Wang, Yukun Zhu, Ruoming Pang, Vijay Vasudevan, Quoc V. Le, Hartwig Adam. Searching for MobileNetV3. arXiv preprint arXiv:1905.02244, 2019.

**XL
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ
ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В
ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ**

ПРИСВЯЧЕНА ДНЮ НАУКИ В УКРАЇНІ

Збірник тез конференції
11 травня 2022 р.

Abstracts of the XL Scientific and technical conference of young scientists and specialists of G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, May 11, 2022 / PIMEE of NAS of Ukraine. - 2022. - 124 p.

Зб. тез XL Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 11 травня 2022 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2022. – 124 с.

Інформаційна підтримка:



[Сторінка конференції на
сайті Інституту](#)

[Telegram канал
РМВ НАН України](#)

