

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Заснований у 1965 р.

105



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

**Склад редакційної колегії науково-технічного збірника «Електротехнічні та інформаційні системи»
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»**

Головний редактор – БЕШТА Олександр Степанович, д.т.н., член-кореспондент НАН України, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Заступник головного редактора – ЯВОРСЬКА Олена Олександрівна, к.т.н., доцент, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Відповідальний секретар – ЦИПЛЕНКОВ Дмитро Володимирович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Члени редакційної колегії:

АЗЮКОВСЬКИЙ О.О., к.т.н., доцент, професор кафедри електропривода, ректор Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

АЛЕКСЕЄВ М.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

БЕЛІКОВ А.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Придніпровської державної академії будівництва й архітектури.

БУБЛИКОВ А.В., д.т.н., доцент, завідувач кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ГУСЄВ О.Ю., к.фіз.-мат.наук, доцент, професор кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КАЛДА Г.С., д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету.

КАШТАН В.Ю., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КОРНІСНКО В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

КУЗНЕСЦОВ В.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехніки Українського університету науки та технологій.

КУПІН А.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету.

ЛИСЕНКО О.Г., к.т.н., доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

МУХА А.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехніки та електромеханіки Українського університету науки та технологій.

НАЛИСЬКО М.М., д.т.н., доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури».

НИКОЛЕНКО А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки Українського університету науки та технологій.

НОЙБЕРГЕР Ніколаус, професор, доктор інженерії Есслінгенського університету прикладних наук, Німеччина.

ОЛЕВСЬКИЙ В.І., д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ОСТАПЧУК О.В., д.т.н., доцент, професор кафедри відновлюваних джерел енергії Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

ПАПАЙКА Ю.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ПОЗДЄЄВ С.В., д.т.н., доцент, професор кафедри будівельних конструкцій Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури».

ПОПОВ С.О., д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету.

РАДЧУК Д.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

РОГОЗА М.В., к.т.н., доцент, професор кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

САДОВОЙ О.В., д.т.н., член-кореспондент НАН України, професор кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

СЕЛІВЬОРСТОВА Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського університету науки та технологій.

СЕРГЄЄВА К.Л., к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

СОКОЛОВА Н.О., к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ТКАЧОВ В.В., д.т.н., професор, професор кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ТРИПУТЕНЬ М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри кіберфізичних вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ХУДОЛІЙ С.С., к.т.н., доцент, завідувач кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ЧЕБЕРЯЧКО Ю.І., д.т.н., професор, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

ШЕДЛОВСЬКА Я.І., к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка».

ЯВОРСЬКИЙ А.В., к.т.н., доцент, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Журнал схвалено до друку Вченою радою Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
20 березня 2024 р., протокол No 4

До 2021 р. збірник виходив під назвою «Гірнична електромеханіка та автоматика».

Науково-технічний збірник «Електротехнічні та інформаційні системи» перереєстрований Міністерством юстиції України
(свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія KB No 25286-15226ПР від 13.10.2022 р.)

Офіційний сайт видання: journals.politehnica.dp.ua/index.php/eis

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com
від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-9059 (Online)
ISSN 2786-9040 (Print)

© Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2024

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.03

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-1>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОЇ ПРОЦЕДУРИ ПРОГНОЗУ ФРАКТАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА КАЛМАНОМ

Сіданченко Владислав Вадимович,

аспірант кафедри безпеки інформації та телекомунікацій

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-5581-9177

Гусєв Олександр Юрійович,

кандидат фізико-математичних наук, професор,

професор кафедри безпеки інформації та телекомунікацій

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-0548-728X

Нікольська Олена Ігорівна,

старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-9283-9214

Вступ. У сучасній металургії стрімкий розвиток технологій ставить перед галуззю виклики у сфері покращення якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Однією з ключових складових цього процесу є контроль і забезпечення відповідного хімічного складу чавуну на етапі випуску з доменної печі. У цьому контексті автоматизований контроль і прогнозування хімічного складу чавуну стають важливими інструментами для підвищення ефективності процесу виробництва якості кінцевого продукту доменної плавки – чавуну.

Найточніша відповідність хімічного складу чавуну заданим параметрам є фундаментальною умовою для досягнення необхідних характеристик кінцевої продукції доменної плавки. Автоматизований контроль дає змогу швидко реагувати на зміни у виробничому процесі та підтримувати хімічний склад заданої якості. Це знижує кількість виробничого браку, покращує якість продукції та знижує економічні втрати.

Наукова новизна. Як рішення поставлених завдань авторами запропоновано модифікований алгоритм фільтра Калмана. Цей метод є розширенням класичного фільтра Калмана. У контексті металургійної промисловості модифікований фільтр Калмана може застосовуватися для прогнозування хімічного складу чавуну на основі раніше отриманих даних про хімічний склад на випуску доменної печі. Впровадження запропонованого модифікованого алгоритму дасть змогу оптимізувати процеси змішування сировини, забезпечуючи мінімізацію втрат і покращення якості кінцевого продукту.

Ключові слова: стохастичні сигнали, прогнозування, оцінка, фрактальний аналіз, динамічна система.

Sidanchenko Vladyslav, Gusev Oleksandr, Nikolska Olena. The experimental investigation of the effectiveness of the modified procedure for forecasting fractal processes with Kalman

Introduction. In modern metallurgy, rapid technological advancements present challenges in improving product quality and optimizing production processes. One of the key components of this process is controlling and ensuring the necessary chemical composition of cast iron at the blast furnace stage. In this context, automated control and prediction of the chemical composition of cast iron become important tools for enhancing the efficiency of the production process for the quality of the final product of the blast furnace – cast iron.

The most accurate correspondence of the chemical composition of cast iron to the specified parameters is a fundamental condition for achieving the necessary characteristics of the final production of the blast furnace. Automated control allows for rapid responses to changes in the production process and maintaining the chemical composition of the desired quality. This reduces waste, improves product quality, and reduces economic losses.

Scientific novelty. As a solution to the stated tasks, the authors propose a modified Kalman filter algorithm. This method is an extension of the classical Kalman filter. In the context of the metallurgical industry, the modified Kalman filter can be applied to predict the chemical composition of cast iron based on previously obtained data on the chemical composition at the blast furnace output. The implementation of the proposed modified algorithm will optimize the raw material mixing processes, minimizing losses, and improving the quality of the final product.

Key words: stochastic signals, prediction, estimation, fractal analysis, dynamic system.

Аналіз попередніх досліджень. Ґрунтуючись на матеріалах роботи [1], у якій наведено обґрунтування гіпотези про фрактальний характер часових рядів, якими представлені результати хімічного аналізу чавуну на випуску доменної печі, зроблено висновок, що традиційні методи прогнозування неадекватні характеру досліджуваних процесів.

З метою підвищення достовірності та точності прогнозних значень досліджуваних часових рядів у роботі [2] досліджено експериментальні дані з використанням методів нелінійної динаміки. Було встановлено, що часова еволюція системи відповідає стійкому стану – дивному атрактору. Результат аналізу квазіциклів показав, що їх ланки мають напрямок обертання за годинниковою стрілкою, що, зі свого боку, свідчить про невеликий ризик помилкового прогнозу. У процесі біфуркаційного аналізу були виявлені зони біфуркації, а також переходу між різними станами системи, що може вказувати на зміни робочої сировини або технології виробництва.

Для застосування теорії фільтрації та прогнозу до технічних систем потрібна розробка математичної теорії, а також методів моделювання систем, синтезу фільтрів-прогнозаторів та їх практичної реалізації. Для лінійних систем із лінійними вимірами при гаусівських шумах теорія фільтрації добре розроблена й існують точні алгоритми оптимальних рішень. Однак для інженерної практики потрібні надійні методи вирішення завдань моделювання, проектування та реалізації фільтрів-прогнозаторів, адекватних досліджуваним сигналам.

На практиці здебільшого замість визначення «оптимальний» застосовують термін «субоптимальний». Оскільки оптимізація характеристик фільтра зазвичай передбачає безліч впливових факторів, це сильно ускладнює або унеможливорює аналітичний опис процесу. Тому оптимальне рішення переважно використовується лише для оцінки описаного реального фільтра за відомої аналітичної моделі досліджуваного сигналу.

Існує кілька основних методів фільтрації та прогнозу стохастичних процесів. Відправною точкою стали роботи А. Н. Колмогорова та Н. Вінера. Однак практичне застосування ці роботи отримали не відразу. Це пояснюється труднощами, по-перше, отримання точних рішень інтегральних рівнянь Вольтерри, по-друге, ідентифікації необхідного спектрального розподілу сигналів і шумів і, по-третє, фізичної системи реалізації. Багато систем, що викликають практичний інтерес, просто не

відповідали пропозиціям, прийнятим у теорії фільтра Вінера [3, 4].

Розробка фільтра Калмана – Бюсі [5, 6] в 1960-х роках відкинула багато обмежень теорії Колмогорова – Вінера. Крім того, рішення рівняння Ріккати у вигляді рекурентного обчислюваного алгоритму дало змогу створити прямий синтез схеми оцінки за допомогою ЕОМ і отримати оцінку та прогнозний сигнал у реальному масштабі часу.

Основна частина. Для оцінки та прогнозу фрактальних часових рядів авторами було розроблено модифіковану процедуру фільтра Калмана. Розглянемо ефективність застосування цієї процедури для прогнозування реальних даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі.

Отримання оцінок поточного значення у вигляді залежності від попередніх значень дає можливість простої заміни n -ї оцінки на $n + k$ здійснювати прогнозування процесу на k кроків вперед.

Відомо, що рівняння фільтра Калмана можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned}\hat{X}_n &= F_n \hat{X}_{n-1} + K_n [S_n - H_n F_n X_{n-1}] \\ K_n &= A_n H_n^T [H_n A_n H_n^T + R]^{-1} \\ A_n &= F_n P_{n-1} F_n^T \\ P_n &= A_n - K_n H_n A_n.\end{aligned}\quad (1)$$

де $\hat{X}_n$ – оціночний вектор стану; F_n – матриця переходу зі стану $n - 1$ у n ; K_n – коефіцієнт підсилення фільтра Калмана (ФК); S_n – виміряне значення сигналу; P_n – матриця помилок; H_n – матриця умов вимірювання. Індекс «Т» означає транспонування матриці.

Рівняння (1) може застосовуватися для отримання оцінок напрямку, якщо матриця переходу F_n відома, що по суті є аналітичним видом оброблюваної залежності. У нашому випадку аналітичний вид функції, а отже, значення матриці F_n невідомі. Тому доцільно виконати апроксимацію F_n у кожній точці, рядом Тейлора n -го порядку.

За результатами виконання процедури апроксимації матриця переходу матиме вигляд:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & a_n \\ 0 & 1 & 2 & b_n \\ 0 & 0 & 1 & g_n \\ -1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}\quad (2)$$

Знаючи матрицю переходу, можна побудувати модифікований алгоритм фільтра Калмана:

$$\begin{aligned}
\hat{x}_n &= \hat{x}_{n-1} + \hat{y}_{n-1} + \hat{z}_{n-1} + \alpha_n C_n \\
\hat{y}_n &= \hat{y}_{n-1} + 2\hat{z}_{n-1} + \beta_n C_n \\
\hat{z}_n &= \hat{z}_{n-1} + \gamma_n C_n \\
C_n &= S_n - \hat{x}_{n-1} - \hat{y}_{n-1} - \hat{z}_{n-1},
\end{aligned} \quad (3)$$

Однак із таким підходом виникає відома з теорії розбіжність фільтра, обумовлена кінцевим значенням порядку апроксимуючого полінома. Для уникнення розбіжності фільтра ми пропонуємо процедуру обчислення статистики такого вигляду:

$$B_M = \sum_{l=1}^M b_l, \quad B_0 = 0, \quad l = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

$$b_l = \text{sgn}(S_l - \hat{X}_l) = \begin{cases} +1, & S_l - \hat{X}_l \geq 0 \\ -1, & S_l - \hat{X}_l < 0 \end{cases} \quad (5)$$

на інтервалі $(n-M, n)$. Визначені на цьому інтервалі величини $(B_M - \min B_M)$ та $(\max B_M - B_M)$ порівнюються з порогом h . У разі перевищення значення h однієї з величини приймається рішення про розбіжність, параметрам фільтра присвоюється початкове значення, а фільтрація продовжується з моменту $(n-M)$.

Для реалізації процедури прогнозу достатньо в (1) ввести $H_n = [100]$, а індекс n представити як $n = n + k$, де k – кількість заздалегідь встановлених кроків прогнозу.

Для оцінки ефективності синтезованого фільтра застосуємо його для прогнозу відсоткового вмісту кремнію, сірки та фосфору в чавуні на випуску. Із цією ціллю скористаємося реальними даними, отриманими на Маріупольському металургійному комбінаті ім. Ілліча (ММК)

за період з 01.01.2011 по 26.02.2011. Розрахунки проводились у програмному середовищі MATLAB. Для побудови прогнозу було використано 600 точок (значень відсоткового вмісту досліджуваних хімічних елементів, отриманих після кожної плавки), що відповідає близько 54 добам роботи доменної печі.

За результатами роботи запропонованого алгоритму були отримані діаграми, що ілюструють прогноз на 4 кроки вперед (приблизно 8 годин роботи доменної печі) для кожного з досліджуваних компонентів чавуну. Рис. 1 – прогноз відсоткового вмісту кремнію; рис. 2 – прогноз відсоткового вмісту сірки; рис. 3 – прогноз відсоткового вмісту фосфору.

На рис. 4 наведено графіки розподілу усередненої відносної помилки прогнозу, обчисленої за формулою:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x(i) - x(i)_{пр}}{x(i)} \right), \quad (5)$$

де $x(i)$ – дійсне значення часового ряду; $x(i)_{пр}$ – прогнозне значення; N – обсяг вибірки.

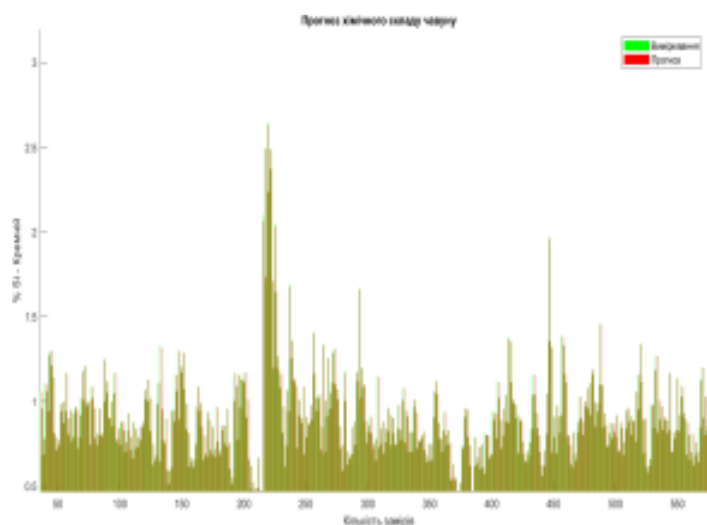
У табл. 1 наведено значення усереднених відносних помилок прогнозу.

Таблиця 1

Усереднені відносні помилки прогнозу

Хімічний елемент	Помилка прогнозу, %
Si, кремній	0,35
S, сірка	0,51
P, фосфор	0,14

З рис. 4 видно, що висота стовпців гістограм зменшується експоненційно (тобто має місце

**Рис. 1. Прогноз відсоткового вмісту кремнію**

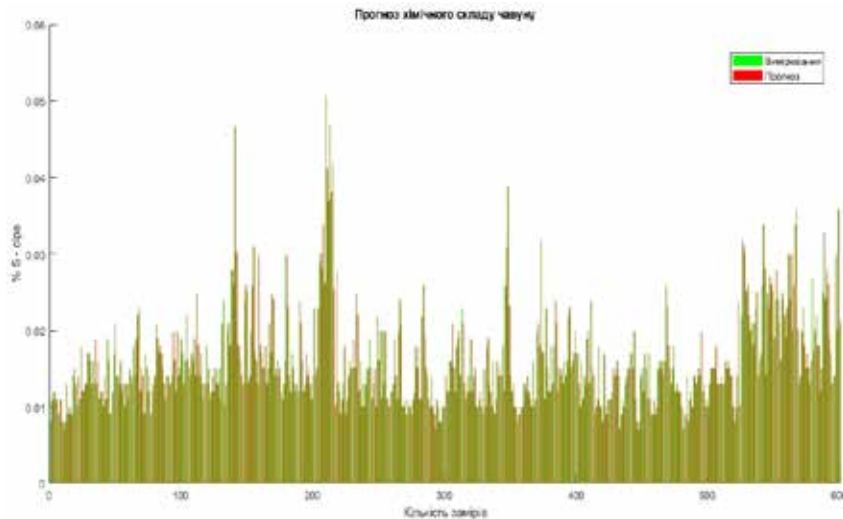


Рис. 2. Прогноз відсоткового вмісту сірки

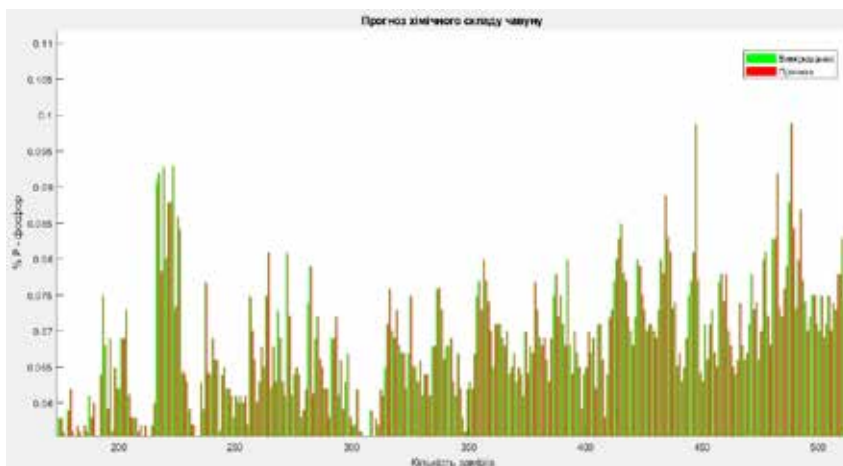


Рис. 3. Прогноз відсоткового вмісту фосфору

експоненційно спадаючий тренд). Це вказує на те, що існує більш висока концентрація вимірювань із меншими відносними помилками та значно менша кількість вимірювань із більшими відносними помилками.

Запропонований модифікований алгоритм на базі калманівської фільтрації сам по собі є лише потужним інструментом оцінки та прогнозу. У контексті основного завдання дослідження запропонований алгоритм має бути інтегрований у систему управління доменною піччю. На цьому етапі потрібно проаналізувати фактори, що впливають на зміни хімічного складу під час плавки, що, зі свого боку, дасть змогу з більшою достовірністю визначити необхідний вплив на процес доменної плавки.

Найбільше на склад чавуну впливає витрата коксу, витрата залізрудних матеріалів та їх

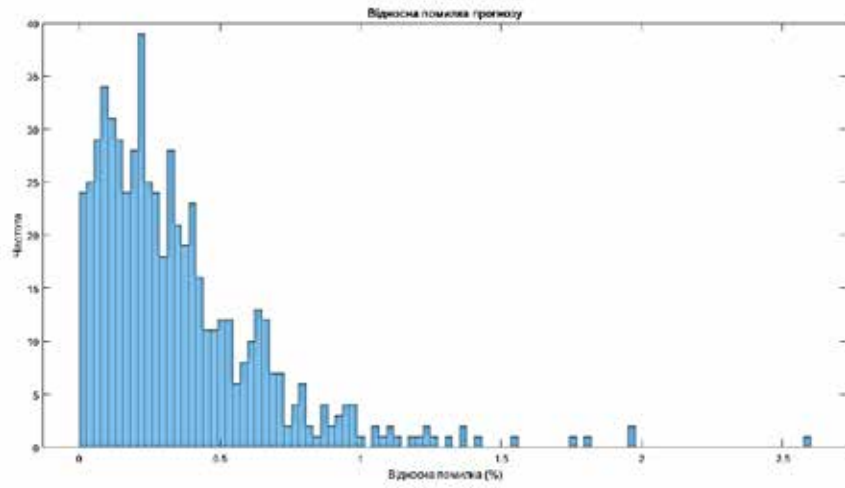
склад, параметри комбінованого дуття, властивості шлаку тощо.

Кремній Si сприяє графітизації чавуну та покращує його ливарні властивості. У сірих чавунах міститься 0,8...4,5% Si.

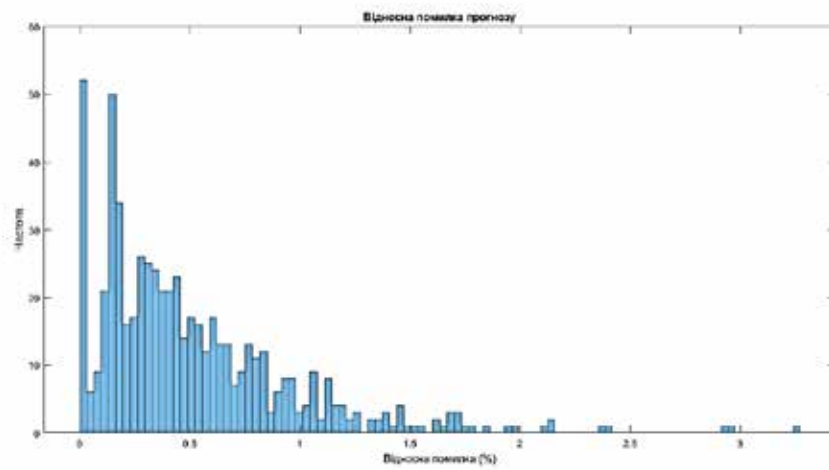
Фосфор P підвищує текучість чавуну, тому допустимий його вміст до 0,4%, але у відповідних чавунних виливках міститься фосфору менше за 0,15%, оскільки зі зростанням вмісту фосфору збільшується крихкість чавуну.

Сірка S ускладнює графітизацію, збільшує крихкість і погіршує текучість чавуну, тому сірки в чавунах повинно бути не більше ніж 0,1%.

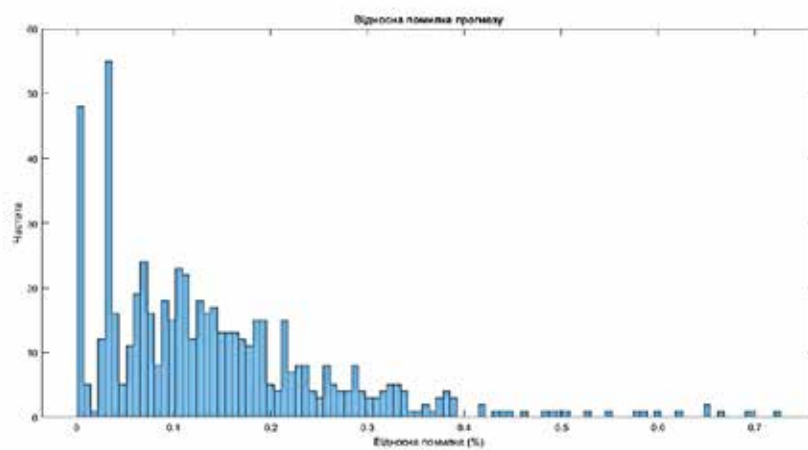
Для управління таким складним технологічним агрегатом, як доменна піч, майстер повинен мати у своєму розпорядженні підсистеми вимірювань, оцінювання, зберігання, обробки інформації, а також інтелектуальні системи управління, включно з блоками прогнозування,



a



б



в

**Рис. 4. Усереднена відносна помилка прогнозу відсоткового вмісту:
а – кремнію; б – сірки; в – фосфору**

завдяки чому він може приймати адекватні рішення щодо внесення коректив у технологічні процеси відповідно до вимог регламенту.

Розглянемо приклад можливої інтеграції запропонованої реалізації модифікованого фільтра Калмана до системи управління тепловим режимом доменної печі (рис. 5), впровадженої на доменній печі № 9 металургійного комбінату «Криворіжсталь».

На цей час серед функціонуючих на доменних печах по всьому світу систем контролю й управління лише деякі мають функцію оперативного

впливу на режим доменної плавки. Ці недоліки здебільшого пов'язані з некоректним підходом до аналізу даних про хімічний склад чавуну на випуску протягом багатьох десятиліть і, як наслідок, із використанням прогнозних моделей, неадекватних характеру прогнозованого процесу.

Зважаючи на пріоритети впровадження на доменних комплексах України сучасних систем управління доменним процесом, насамперед потрібно підвищувати інформаційний рівень систем центрального контролю, доповнивши їх блоками прогнозування контрольованих

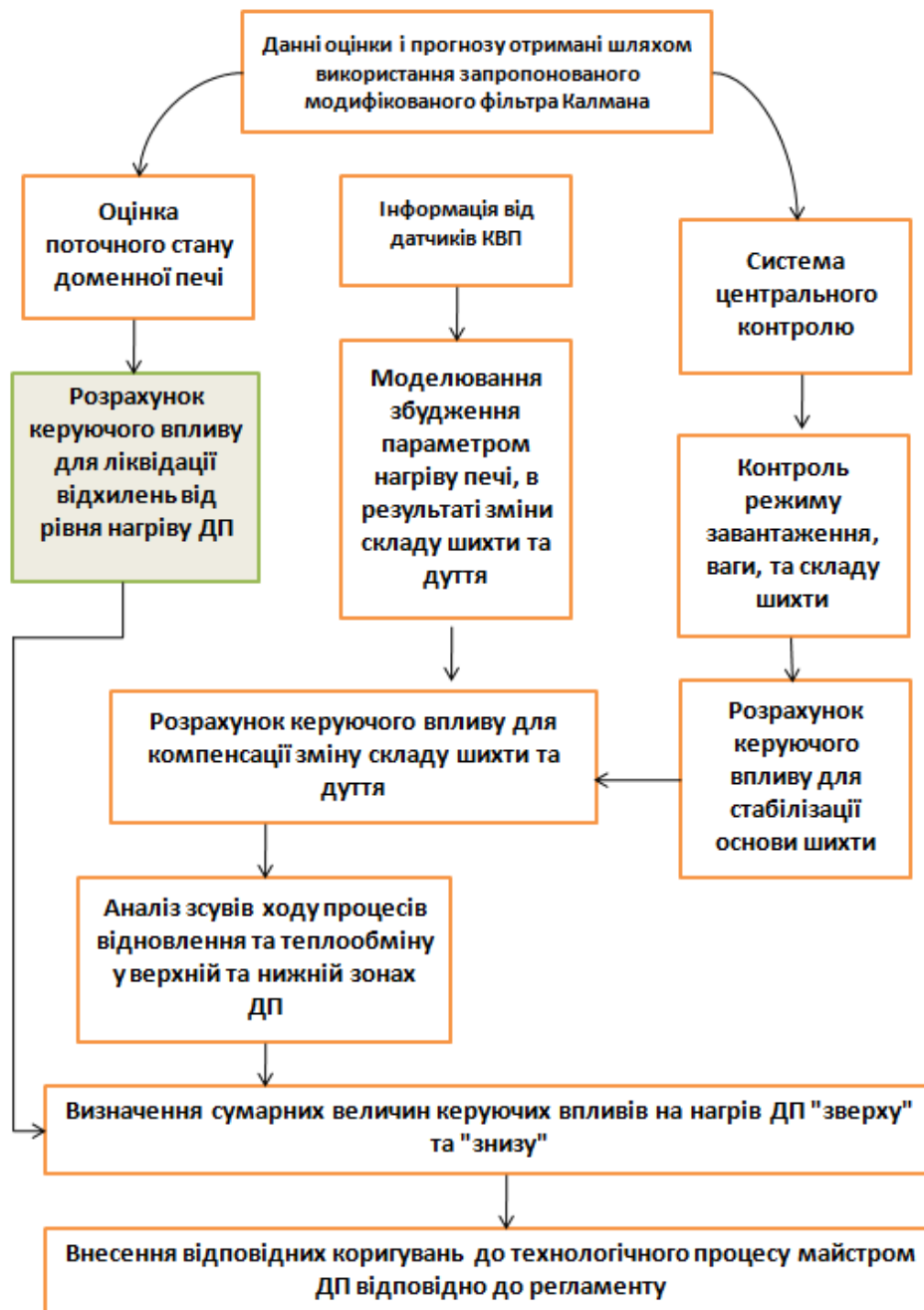


Рис. 5. Приклад можливої реалізації системи управління з урахуванням застосування запропонованого алгоритму

параметрів. Різностороннє опрацювання інформації дасть змогу значно підвищити ефективність використання засобів контролю.

Висновки. У статті було представлено реалізацію фільтра-прогнозатора на основі модифікованого фільтра Калмана. Продемонстровано

ефективність застосування фільтра на реальних даних і показано можливість застосування запропонованого алгоритму для довгострокового прогнозу відсоткового вмісту основних компонентів чавуну на випуску з малою відносною помилкою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гусев О. Ю., Сіданченко В. В. Фрактальний аналіз реальних даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2022. № 2. С. 24–31.
2. Сіданченко В. В., Нікольська О. І. Методи нелінійної динаміки в задачі прогнозування хімічного складу чавуну на випуску. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2023. № 2. С. 76–83.
3. Kolmogorov A.N. Interpolation and extrapolation of stationary casual sequences of. *Series are mathematical*. 1941. № 5.
4. Wiener N. The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. *Wiley, New York*, 1949.
5. Kalman R.E., J. *Basic Engineering*. ASME. 1960.
6. Bucy R.S., Joseph P.D. Filtering for Stochastic Processes with Applications to Guidance. *Wiley (Interscience), New York*, 1968.

REFERENCES:

1. Gusev, O.Yu., Sidanchenko, V.V. (2022). Fraktalniy analiz realnykh danykh pro khimichnyi sklad chavunu na vypusku domennoi pechi [Fractal analysis of real data on the chemical composition of cast iron at the output of a blast furnace]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. № 2. P. 24–31 [in Ukrainian].
2. Sidanchenko, V.V., Nikolska, O.I. (2023). Metody neliniinoi dynamiky v zadachi prohnouzuvannia khimichnoho skladu chavunu na vypusku [Methods of non-linear dynamics in the problem of forecasting the chemical composition of cast iron at the output]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. № 2. P. 76–83 [in Ukrainian].
3. Kolmogorov, A.N. (1941). Interpolation and extrapolation of stationary casual sequences of. *Series are mathematical*.
4. Wiener, N. (1949). The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. *Wiley, New York*.
5. Kalman, R.E. (1960). *Basic Eng.* ASME.
6. Bucy, R.S., Joseph, P.D. (1968). Filtering for Stochastic Processes with Applications to Guidance. *Wiley (Interscience), New York*.

УДК 004.62: 001.891

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-2>**ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЇ: РОЗКІШ ЧИ НЕОБХІДНІСТЬ?****Соколова Наталя Олегівна,**

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-2493-3553
Scopus Author ID: 57216951893

Бешта Лілія Валеріївна,

асистент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-5041-0962

Бешта Дмитро Олександрович,

доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-2848-2737

У статті розглянуто роль візуальних елементів у формуванні позитивного досвіду користувача й ефективності комунікації в цифровому середовищі. Зазначено, що візуальна інформація має фізіологічно обумовлену перевагу над текстом для людини. Робиться акцент на важливості візуальної привабливості контенту в цифровій рекламі та її впливу на маркетингові стратегії. Наведено дані щодо зростання обсягу цифрової інформації в останні роки та прогнози на майбутнє. Великі обсяги даних, які важко сортувати та розуміти, зробили візуалізацію більш важливою, допомагаючи прискорити обробку й подання даних. У статті обговорюється значення візуалізації в сучасному суспільстві, підкреслена її важливість у галузях технічних і природничих наук. Наголошується на значенні наукової візуалізації у зрозумінні складних даних і розкривається її вплив на розвиток науки. Текст розглядає наукову візуалізацію як процес графічного відображення наукових даних, що визначається як важливий компонент творчої реалізації наукових ідей. Особливий акцент робиться на ролі візуалізації в уникненні очевидних висновків і дослідженні невідомого.

Ключові слова: цифрова інформація, візуалізація даних, наукова візуалізація, аналітика візуальних даних, інфографіка.

Sokolova Natalya, Beshta Liliia, Beshta Dmytro. Information visualization: luxury or necessity?

The article discusses the role of visual elements in shaping a positive user experience and communication efficiency in the digital environment. It is noted that visual information has a physiologically based advantage over text for humans. The author emphasizes the importance of visual appeal of content in digital advertising and its impact on marketing strategies. Data on the growth of digital information, reaching 180 ZB, according to IDC and Statista forecasts, is presented. Large volumes of data that are difficult to sort and understand have made visualization more important, helping to speed up data processing and presentation. The article discusses the importance of visualization in modern society, emphasizing its importance in the fields of engineering and natural sciences. It emphasizes the importance of scientific visualization in understanding complex data and reveals its impact on the development of science. The text considers scientific visualization as a process of graphical display of scientific data, which is defined as an important component of the creative realization of scientific ideas. Particular emphasis is placed on the role of visualization in avoiding obvious conclusions and exploring the unknown.

Key words: digital information, data visualization, scientific visualization, visual data analytics, infographics.

Вступ. Найяскравіші спогади дитинства часто пов'язані з візуальними образами: різнокольорові кульки в небі, картатий візерунок краватки батька, червона пожежна машина, тоді як слова, сказані чи прочитані, можуть бути забуті. Це пов'язано з тим, що наш мозок має здатність зберігати візуальні зображення в довгостроковій

пам'яті, тоді як текст потрапляє в нашу робочу короточасну пам'ять, яка фіксує інформацію недовго.

Кількість інформації у світі збільшується зі швидкістю лавини. За даними міжнародної компанії IDC, лише у 2020 році людство створило та відтворило 64,2 Збайта даних

(зетабайт = мільярд терабайтів). У 2021 році загальний обсяг даних, згенерованих у світі, оцінювався приблизно в 79 Збайт [1].

А обсяг цифрової інформації, яку створять у найближчі п'ять років, удвічі перевищить загальний розмір усіх наявних на сьогодні цифрових даних. За прогнозом компаній IDC та Statista [1], обсяг даних у світовому масштабі щороку зростатиме приблизно на 61%. До 2025-го цей показник досягне 180 Збайт. Компанії у різних сферах усе частіше використовують машинне навчання для збору величезних обсягів даних, які важко й довго сортувати, розуміти та пояснювати. Зростання обсягів оброблюваної людством інформації і потреба у їх аналізі призвели до появи так званих великих даних (BigData), що зробило візуалізацію більш важливою, ніж будь-коли. Візуалізація пропонує засіб пришвидшити обробку великих даних і представити інформацію зацікавленим сторонам у зрозумілий для них спосіб.

Візуалізація інформації важлива майже у всіх галузях сучасного суспільства. Візуальна інформація краще сприймається і дає змогу швидко й ефективно донести до споживача власні думки та ідеї, узагальнити їх. Чому ж візуалізація так швидко завойовує все нові позиції і наскільки вона важлива в предметних галузях технічних і природничих наук?

Матеріали та методи. Текст завжди був, є і буде найважливішим компонентом формування позитивного досвіду користувача. Але користувачі не хочуть стикатися зі «стіною контенту», навіть виник англomовний термін TL; DR (too long; didn't read, тобто «занадто довго; не читається»). Фізіологічно сприйняття візуальної інформації є основним для людини (до 90%), тому що 70% сенсорних рецепторів є в очах і близько половини нейронів головного мозку людини задіяні в обробці візуальної інформації. Найкраще (до 80%) запам'ятовується саме візуальна інформація порівняно з 10% аудіоінформації. Проведені в останні роки дослідження з'ясували [2], що:

- у 60 000 разів швидше сприймається візуальна інформація порівняно з текстовою, при цьому на 19% менше під час роботи з візуальними даними використовується когнітивна функція мозку, що відповідає за обробку й аналіз інформації;

- у 2014 році людина отримувала щоденно в п'ять разів більше інформації, ніж у 1986; сьогодні обсяг інформації, котру споживає людина поза роботою в середньому за день, – це 34 гігабайта, або 100 500 слів;

- у середньому користувачі читають тільки 28% тексту сторінки сайту за відвідування, але наявність візуальних образів підвищує на 80% бажання прочитати інформацію на сайті;

- тільки 50% аудиторії засвоюють суто аудіо-контент проти 67% аудиторії, які запам'ятовують інформацію, підкріплену візуальним ефектами;

- на 17% вища продуктивність людини, що працює з візуальною інформацією, тому що на 4,5% краще згадуються докладні деталі візуальної інформації;

- науковці у сфері медицини встановили, що якщо в інструкції до ліків розміщено тільки текст, людина засвоює з неї лише 70% інформації. Якщо ж в інструкцію додати рисунки, людина засвоїть уже 95%;

- люди дотримуються вказівок із текстом та ілюстраціями на 323% краще, ніж люди, які слідуєть вказівкам без ілюстрацій;

- потребу у візуалізації вже визнали й використовують у всьому світі: між 1985 і 1994 роками в газетах стало на 142% більше візуальних елементів; з 1990 року в книгах з'явилося на 400% більше ілюстрацій та інших допоміжних засобів, а в Інтернеті з 2007 року кількість візуальної інформації зросла на 9900%!

До речі, візуалізація підсумків цих досліджень від NeoMam Studios під назвою 13 Reasons Why Your Brain Craves Infographics у 2016 році отримала нагороду Information is Beautiful Awards від Data Visualization Society (DVS, Товариства візуалізації даних), яка відзначає досконалість і красу у візуалізації даних, інфографіці, інтерактиві й інформаційному мистецтві з 2012 року [3].

Завдяки зростанню рівня проникнення Інтернету та постійному зростанню популярності цифрових платформ у всьому світі цифрова реклама стала однією з найважливіших форм реклами. 50,5% маркетологів оцінюють візуальний маркетинг як «дуже важливий» для їх маркетингової стратегії; 22% вважають це «важливим», а 19% кажуть, що їх стратегія ніщо без візуального контенту. Оригінальна графіка (інфографіка та ілюстрації), яка захопила лідерство у 2020 році, зберегла провідні позиції як найбільш використовуваний тип візуального контенту у 2021 році (32,5% маркетологів у 2020 році найчастіше використовували оригінальну графіку, у 2021 році ця цифра зросла до 36,4% зі зростанням бюджетів на візуалізацію з 10 до 21–30%) [4]. У дослідженнях поставальника ринкових і споживчих даних Statista [5] підраховано, що у 2022 році на цифрову рекламу було витрачено 566 мільярдів доларів, 2025 року ця цифра перевищить позначку

в 700 мільярдів доларів, а у 2027-му досягне одного трильйона доларів США. Ці цифри переконливо свідчать про шалене підвищення популярності наочності в різних сферах.

Джессі Джеймс Гарретт, інформаційний дизайнер, говорить: «Якщо ви хочете, щоб візуалізація інформації приносила максимальну цінність – ви повинні знати свого користувача. Ви можете отримати глибоке розуміння своїх користувачів лише шляхом дослідження користувачів, але існує дві загальні категорії користувачів для візуалізації інформації з двома різними наборами вимог: споживачі інформації та аналітики інформації» [6].

Наукова візуалізація, яку іноді називають скорочено SciVis, дає змогу вченим і дослідникам отримати краще розуміння своїх експериментальних даних, ніж будь-коли раніше. Візуалізація даних допомагає зрозуміти набори даних і визначити закономірності та тенденції, які в іншому випадку залишилися б непоміченими [7]. Інформаційні аналітики також використовують візуалізацію інформації і, як і споживачі інформації, вони можуть використовувати візуалізації, щоб підтвердити своє розуміння ідей і концепцій. Однак частіше інформаційні аналітики використовують методи візуалізації інформації не для підтвердження того, що вони вже знають, а для дослідження того, чого вони не знають. Візуалізації можуть допомогти уникнути очевидних висновків, показуючи суперечливі докази цих висновків, або можуть допомогти дослідникам стати більш обережними щодо сприйняття збігу як встановленого фактичного зв'язку. Наукова візуалізація зараз формує прогрес науки як багатодисциплінарної сфери [8].

Що ж таке наукова візуалізація? Енциклопедія «Британіка», найповніша й найстаріша універсальна енциклопедія англійською мовою, яка у 2012 році перейшла в цифровий формат інтернет-енциклопедії, дає таке визначення: наукова візуалізація – це процес графічного відображення реальних або змодельованих наукових даних. Це життєво важлива процедура творчої реалізації наукових ідей, зокрема в інформатиці [9].

Наукова візуалізація, візуалізація інформації та аналітика візуальних даних є трьома основними галузями візуалізації, які стосуються створення графічних зображень наукових явищ як засобу розуміння й отримання інформації про дані [8]:

- наукова візуалізація забезпечує тривимірне представлення змодельованих явищ і вибіркового даних із застосуванням у різних галузях;

- візуалізація інформації – це дослідження інтерактивних візуальних представлень абстрактних даних для покращення пізнання людини;

- візуальна аналітика даних є наслідком двох попередніх областей, яка зосереджена на аналітичному міркуванні через інтерактивні візуальні інтерфейси.

Наукова візуалізація стосується процесу представлення необроблених наукових даних у вигляді зображень, надаючи зовнішню допомогу для покращення інтерпретації науковцями великих наборів даних і отримання інформації, яку можуть не помітити лише статистичні методи.

До інструментів наукової візуалізації належать:

- комп'ютерна анімація – процес створення цифрових анімаційних зображень;

- комп'ютерне моделювання – це спроби мережі комп'ютерів або комп'ютерної програми змодельовати результати математичної моделі, пов'язаної з конкретною системою;

- візуалізація поверхні – автоматичний процес, за допомогою якого комп'ютерна програма генерує зображення з 2D- або 3D-моделі: методи передбачають візуалізацію сканлінії, трасування променів, кастинг променів і радіо-випромінювання;

- об'ємна візуалізація – набір методів, що використовуються для відображення 2D-проекції тривимірного набору даних із дискретною вибіркою;

- об'ємна візуалізація входить до процесу створення графічних зображень наборів даних, визначених у тривимірних сітках.

Відображення складних даних у візуальній формі забезпечує чіткий та інтуїтивно зрозумілий підхід до обробки аналітики великих даних і покращує розуміння, дослідження та прийняття рішень за допомогою знайомих візуальних метафор. Візуалізація наукових даних, класифікована як 2D або 3D наукова візуалізація, використовує методи з різних галузей, включно з обробкою зображень, комп'ютерною анімацією, комп'ютерним баченням, обробкою сигналів, комп'ютерною графікою, взаємодією людини з комп'ютером і автоматизованим проектуванням.

З'являється все більше різноманітних програмних рішень для візуалізації наукових даних, які варіюються від комерційно ліцензованого програмного забезпечення та міжплатформних фреймворків додатків до інструментів freemium, систем програмного забезпечення загальнодоступного домену та

наборів інструментів з відкритим кодом. Серед популярних рішень – Amira, Avizo, Datacopla, Dataplot, MeVisLab, Orange, ParaView, tomviz, Vis5D, VMD, PyMol, Chimera POVRay, Blender і VisIt.

В Альянсі університетів Сорбонни у 2020 році було створено Центр візуалізації даних (CDV) як відкрите й інтерактивне середовище для обміну досвідом між користувачами та сприяння спільним міждисциплінарним зусиллям. На додаток до надання найсучасніших технологій співробітники центру допомагають дослідникам досліджувати свої дані візуально за допомогою перетвореного програмного забезпечення [10].

Провідні університети світу [11–13] впроваджують у програми навчання курси з наукової візуалізації, на яких разом із математичними й алгоритмічними основами наукової візуалізації (такими як скалярні, векторні та тензорні поля) і сучасним інструментарієм дослідницької візуалізації розглядаються і систематичні помилки й інші несподівані проблеми, які виникають під час обробки даних.

Результати. Наукова візуалізація завжди була невід’ємною частиною відкриттів, починаючи спочатку зі спрощених малюнків і до

наших днів. Математичний формалізм часто витісняє візуальні методи, але їх використання лежить в основі розумового процесу. З появою технологій комп’ютерної графіки візуалізація стала рушійною силою сучасних обчислень. Створення графіків, інфографіки, візуалізацій і наукових концепцій з відео, які здатні передати ключові результати аналізу, не спотворюючи реальність, є обов’язковим для поширення досліджень, для охоплення та навчання. Той факт, що може бути важко або неможливо помітити помилку в наборі даних, робить візуалізацію даних особливо важливою. Наукова візуалізація поєднує комп’ютерну графіку, чисельні методи, математичні моделі фізичного світу та сучасний програмний інструментарій для створення візуальної основи для розуміння й вирішення наукових проблем.

Висновки. Зростаюча доступність інформативних наборів даних і програмних інструментів призвела до більшої залежності від візуалізації даних у багатьох сферах, у тому числі в наукових дослідженнях. Візуалізація даних надає потужний спосіб обробляти дослідницькі дані, мотивувати аналіз і виявляти недоліки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. P. Taylor. Amount of data created, consumed, and stored 2010–2020, with forecasts to 2025. Nov 16, 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.
2. 13 Scientific Reasons Why Your Brain Craves Infographics. NeoMam Studios. URL: <https://neomam.com/interactive/13reasons/>.
3. 13 Reasons Why Your Brain Craves Infographics. Data Visualization Society presents Information is Beautiful Awards. URL: <https://www.informationisbeautifulawards.com/showcase/1569-13-reasons-why-your-brain-craves-infographics>.
4. N. Khoja. 16 Visual Content Marketing Statistics to Know for 2022. Sep 26, 2022. URL: <https://venngage.com/blog/visual-content-marketing-statistics/#2022>.
5. Digital advertising spending worldwide 2021–2026. Published by Statista Research Department, Aug 29, 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/237974/online-advertising-spending-worldwide/>.
6. K. Brush, E. Burns. Definition data visualization. URL: <https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/definition/data-visualization>.
7. Interaction Design Foundation – IxDF. Information Visualization – Who Needs It? Interaction Design Foundation – IxDF. (2020, September 12). URL: <https://www.interaction-design.org/literature/article/information-visualization-who-needs-it>.
8. B.E. Hollister, A. Pang. A Concise Introduction to Scientific Visualization. Past, Present, and Future. Springer Cham. 2022. 107 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86419-4>.
9. Scientific visualization. Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/scientific-visualization>.
10. Scientific Visualisation. Institut des sciences du calcul et des données. Alliance Sorbonne Université. URL: <https://iscd.sorbonne-universite.fr/research/incentive-actions/scientific-visualisation/>.
11. Data Science: Visualization. Harvard University. URL: <https://pll.harvard.edu/course/data-science-visualization>.
12. The Art of Scientific Visualization. Boise State University. URL: <https://www.boisestate.edu/vip/the-art-of-scientific-visualization/>.
13. Scientific Visualization. Technische I Universität Dresden. URL: <https://tu-dresden.de/ing/informatik/smt/cgv/studium/lehrrveranstaltungen/ss2023/scivis>.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.316

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-3>

ПРОБЛЕМА ПЕРЕТОКІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ПІДЗЕМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Папайка Юрій Анатолійович,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри електроенергетики

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-6953-1705

Лисенко Олександра Геннадіївна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-7041-671X

Буртний Дмитро Іванович,

магістр електроенергетики

ORCID ID: 0009-0008-7758-8566

У статті проведено аналіз впливу перетоків надлишкової реактивної потужності (РП) на режими роботи підземних електричних мереж вугільних шахт. Розглянуто характерні особливості графіків електричних навантажень та енергобалансів гірничих підприємств. Досліджено сучасні способи компенсації РП в підземних електричних мережах і наведено основні залежності для оцінки економічної ефективності оптимізації перетоків РП. Метою роботи є обґрунтування необхідності дослідження та вирішення питання оптимізації перетоків РП в системі електропостачання гірничого підприємства. Для розв'язання поставлених завдань було проаналізовано сучасний стан підземних електричних мереж вугільних шахт на предмет завантаження підземних електричних мереж надлишковою РП. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність вирішення питання оптимізації перетоків РП в підземних електричних мережах. Запропоновані в роботі залежності оцінки економічної ефективності оптимізації перетоків РП дають змогу проводити вибір найбільш економічно доцільних точок підключення компенсаційного устаткування РП в шахтній мережі. Проведений аналіз дає змогу розглянути проблему перетоків РП з погляду впливу перетоку надлишкового рівня РП на ефективність режимів роботи електричних мереж і вибір основного обладнання.

Ключові слова: реактивна потужність, електричні мережі, гірничі підприємства, енергетичні баланси, вищі гармоніки.

Papaika Yuri, Lysenko Alexandra, Burtnyi Dmytro. The problem of reactive power flows in underground power supply systems of coal mines

The article analyzes the influence of excess reactive power (RP) flows on the modes of operation of underground power supply systems of coal mines. The characteristic features of electrical load schedules and energy balances of mining enterprises are considered. Modern methods of RP compensation in underground power supply systems are studied and the main dependencies for evaluating the economic efficiency of RP flow optimization are given. The purpose of the work is to substantiate the need for research and solving the issue of optimization of RP flows in the power supply system of a mining enterprise. To solve the problems, the current state of underground power supply systems of coal mines was analyzed for the purpose of loading underground electrical networks with excess RP. On the basis of the conducted analysis, the need to solve the issue of optimization of RP flows in underground power supply systems is substantiated. Proposed in the paper, the dependencies of the assessment of the economic efficiency of optimization of RP flows allow the selection of the most economically expedient connection points of RP compensating equipment in the mine power supply systems. The conducted analysis allows us to consider the problem of RP flows from the point of view of the influence of the excess RP level flow on the efficiency of the operating modes of power supply systems and the choice of the main equipment.

Key words: reactive power, power supply systems, mining enterprises, energy balances, higher harmonics.

Вступ. Сучасним гірничим підприємствам характерні особливі режими роботи електричних мереж, які насамперед обумовлені особливостями технологічного процесу видобутку корисних копалин закритим способом. Режими роботи електричних мереж характеризуються повторно-короткочасними накидами навантаження та є унікальними для кожного шахтоуправління. Постійна зміна рівня електричних навантажень, децентралізація системи електропостачання та збільшення відстані між точками розподілу електричної енергії формує особливі графіки електричних навантажень (ГЕН). Формування групового ГЕН вугільної шахти відбувається внаслідок узагальнення індивідуальних графіків електричного обладнання, які мають специфічні особливості, пов'язані з технологічним процесом роботи.

Особливі режими роботи основного обладнання з видобутку вугілля вимагають вирішення проблеми перетоків надлишкової РП в підземній шахтній мережі. Також у контексті вирішення цього питання не менш важливою задачею є задача пошуку рішення зменшення втрат активної потужності в елементах електричних мереж шляхом наближення джерел компенсації РП до точки її споживання.

Мета дослідження. У цій роботі було проведено оціночний аналіз сучасного стану підземних електричних мереж вугільних шахт. Обґрунтовано необхідність дослідження та вирішення питання оптимізації перетоків реактивної потужності в системі електропостачання гірничого підприємства.

Основний зміст роботи. Створення засад забезпечення енергетичної ефективності в умовах діючої вугільної шахти вимагає комплексного розгляду проблеми перетоків реактивної потужності. На основі наукових та експериментальних досліджень електричних режимів вугільних шахт вирішення зазначеного питання проводиться шляхом оптимізації електричних режимів у такій послідовності [1, 2]:

- розрахунок електричних навантажень стаціонарних установок, підземних навантажень і підприємства загалом;
- перевірка режиму напруги до найбільш віддалених електроприймачів;
- перевірка показників якості напруги під час роботи потужних нелінійних навантажень з урахуванням циклічності роботи;
- вибір конфігурації схем і перетинів кабельних ліній (КЛ) електричних мереж;
- вибір засобів компенсації реактивної потужності (КРП) і їх розподіл між мережами 0,4; 0,66; 1,14 кВ і 6–10 кВ.

Науковими дослідженнями визначено ознаки та специфічні режими стаціонарних установок вугільних шахт [3], які в комплексному підході розгляду проблеми перетоків реактивної потужності створюють унікальні співвідношення параметрів електромагнітних процесів передачі та перетворення електроенергії. Режими споживання реактивної потужності та генерації вищих гармонік у підземній шахтній мережі мають варіативний характер [3, 4], причому ступінь споживання реактивної потужності залежить від споживаної активної потужності.

Одним із можливих методів оптимізації перетоків РП в підземній системі електропостачання є проведення розрахунку згідно з методикою визначення економічного ефекту, викликаного недостатньою компенсацією або перекомпенсацією РП [4].

Найбільш ефективним шляхом розробки технічних рішень зі зниження рівня РП в електричній мережі є використання стаціонарних установок з компенсації РП [3, 4], місце встановлення яких може бути визначено шляхом оцінки плати за перетоки реактивної потужності в шахтній мережі, що досліджується.

Розглянемо спрощену схему електропостачання шахтної мережі від комплектної трансформаторної підстанції (КТПВ) енергопотяга лави до шин головної знижувальної підстанції ГЗП (рис. 1).

За схемою електропостачання шахтної мережі, що досліджується, можливо провести формування добового ГЕН за наявними значеннями рівня активної та реактивної потужності в точках розглянутої електричної мережі (рис. 2). Формування ГЕН саме за реальними значеннями електричних параметрів дає змогу з великою точністю проаналізувати режими електроспоживання [4], які виникли на конкретній ділянці шахтної мережі, та виконати розробку технічних рішень з урахуванням конфігурації мереж шахтного поля.

Наведений ГЕН демонструє типовий режим роботи підземної мережі електропостачання без наявних засобів компенсації РП. Режим електропостачання характеризується значним перевищенням рівня реактивної складової порівняно з активною, що призводить до зростання рівня невиробничих витрат і потребує впровадження в технологічний процес засобів оптимізації перетоків РП, максимально наближених до підземних ступоприймачів.

Підземні струмоприймачі шахт можна умовно поділити за рівнем узагальнення електричних навантажень на характерні групи споживачів [2, 3]:

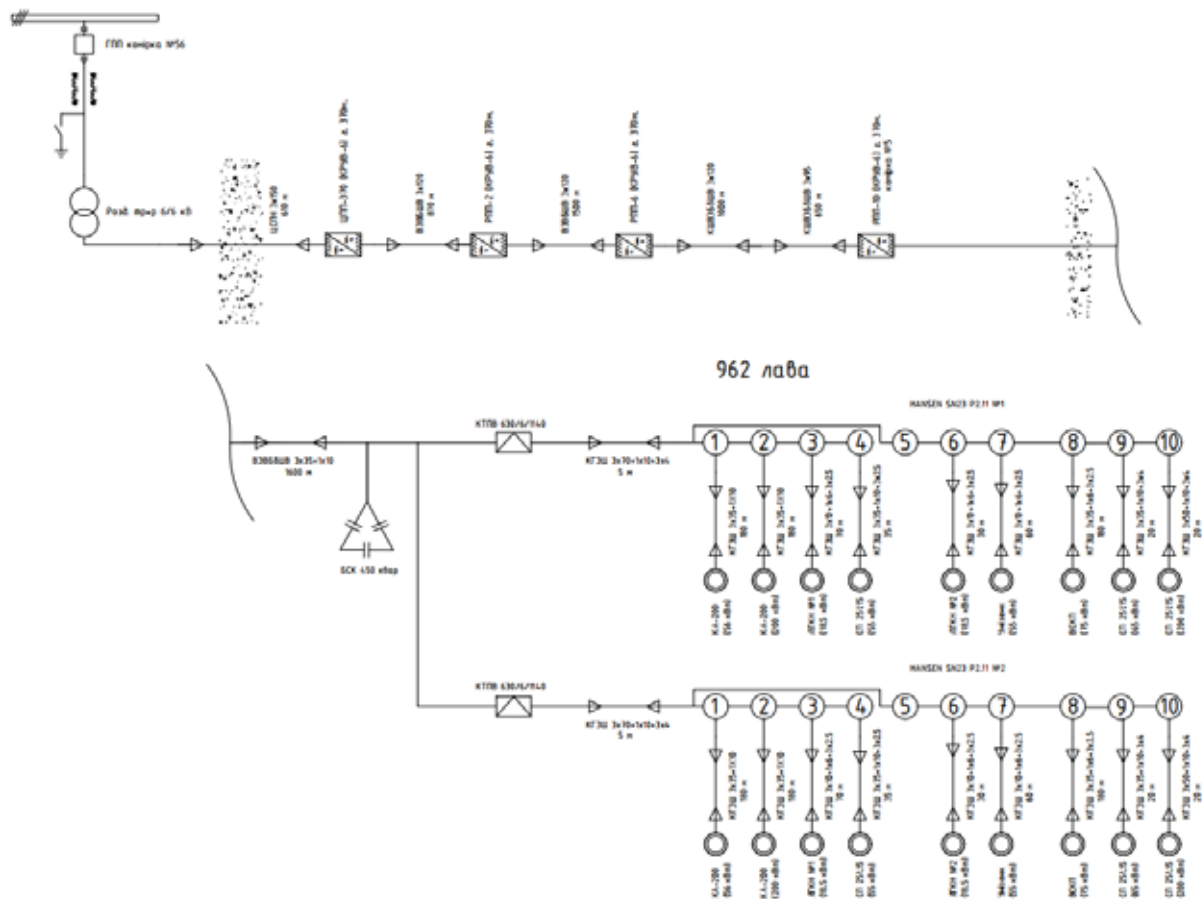


Рис. 1. Схема електропостачання лави

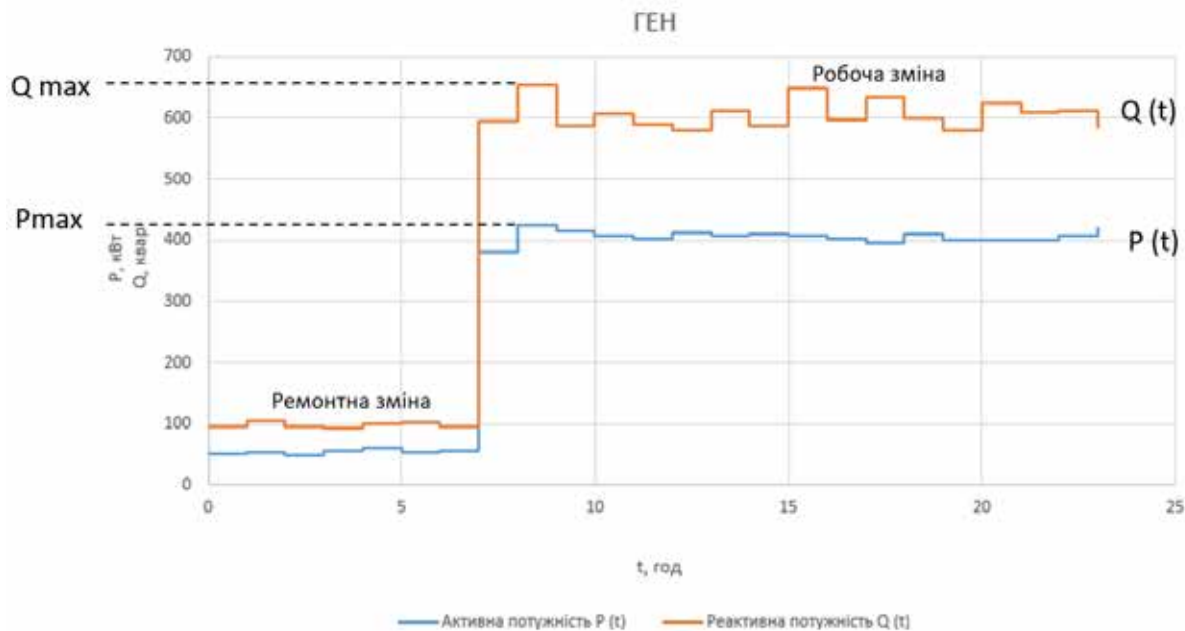


Рис. 2. Добовий ГЕН 962 лави шахтоуправління ім. Героїв Космосу

– очисних забоїв;
 – прохідницько-видобувних і прохідницьких забоїв;
 – панельного та магістрального конвеєрного транспорту.

Крім того, у вузлах навантаження характерні групи споживачів – навантаження секцій шин ЦПП, РПВ та РПВ головного водовідливу.

Ефективність застосування пристроїв компенсації РП, правильність вибору їх потужності

та місця підключення, визначення раціонального розподілу втрат потужності та напруги на різних ділянках електричної мережі шахт визначається виходячи з дійсних значень активних і реактивних електричних навантажень у характерних вузлах підземної розподільної мережі напругою 6 кВ відповідно до сформованого ГЕН [4].

За допомогою конденсаторних установок можна не тільки компенсувати частину реактивної потужності, але й раціонально розподілити некомпенсовану частину цієї потужності по окремих вузлах мережі [3], виходячи з мінімуму втрат активної потужності й електроенергії, а також збільшити напругу на затискачах струмоприймачів гірських машин.

Для проведення вибору найбільш економічно ефективних точок підключення компенсаційного устаткування РП на ділянках шахтного поля доцільно використання залежностей (1) – (3) [3].

$$\Delta W1 = \frac{\sum P_i^2 \cdot t_i + \sum Q_i^2 \cdot t_i}{U_{\text{ном}}^2} \cdot R, \quad (1)$$

де $\Delta W1$ та $\Delta W2$ – втрати енергії до компенсації та після компенсації;

P_i та Q_i – значення потужностей за півгодинний інтервал часу;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга мережі;
 R – сумарний опір схеми заміщення.

$$\Delta W2 = \frac{\sum P_i^2 \cdot t_i + \sum Q_i^2 \cdot t_i}{U_{\text{ном}}^2} \cdot R, \quad (2)$$

Економічний ефект від компенсації РП може бути розраховано за формулою [4]:

$$\delta W = (\Delta W1 - \Delta W2) \cdot c, \quad (3)$$

де c – тарифна ставка на електричну енергію.

Висновки. У цій статті було наведено основні залежності для оцінки економічної ефективності оптимізації преретоків РП на ділянці шахтного поля, що розглядається. Обґрунтовано необхідність дослідження та вирішення питання оптимізації преретоків РП в системах електропостачання вугільних шахт. Аналіз типового ГЕН обґрунтував доцільність вирішення проблеми завантаження підземних електричних мереж надлишковою РП, яка генерується основним обладнанням з видобутку вугілля. Наведені універсальні залежності дають можливість визначити раціональні точки приєднання компенсаційного устаткування за будь-якої конфігурації електричної мережі шахтного поля.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І. В. Жежеленко, Г. Г. Півняк, Г. Г. Трофімов, Ю. А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. у-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 72 с.
2. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія / Г. Г. Півняк, І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». 2-ге вид. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 148 с.
3. Папаїка Ю. А. Застосування індивідуал. графіків вищих гармонік в задачах електромагн. сумісності та енергоефективності гірничих підприємств / І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, О. Г. Лисенко, К. С. Родна. Гірничая електромеханіка. 2019. № 101. С. 3–7.
4. Оціночні методи визначення економічного еквівалента реактивної потужності / І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, О. Г. Лисенко. Гірничая електромеханіка та автоматика. 2017.

REFERENCES:

1. Reaktyvna potuzhnist v elektrychnykh merezhakh [Reactive power in power supply systems]: monograph / I.V. Zhezhelenko, H.G. Pivniak, H.G. Trofimov, Yu.A. Papaika; Ministry of Education and Science of Ukraine, National technical "Dniprovsk Polytechnic" university. Dnipro: NTU "DP", 2020. 72 p. [in Ukrainian].
2. Enerhetychna efektyvnist system elektropostachannia [Energy efficiency of power supply systems]: monograph / H.G. Pivniak, I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika; Ministry of Education and Science of Ukraine, National technical "Dniprovsk Polytechnic" University. 2nd ed., Dnipro: NTU "DP", 2018. 148 p. [in Ukrainian].
3. Papaika, Yu. A. (2019). Zastosuvannia indyvidual. hrafikiv vyshchikh harmonik v zadakh elektromagn. sumisnosti ta enerhoefektyvnosti hirnychikh pidpriemstv [The application is individual. graphs of higher harmonics in electromagnetic problems. compatibility and energy efficiency of mining enterprises] / I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika, O.H. Lysenko, K.S. Rodna. *Mining Electromechanics*, No. 101. P. 3–7 [in Ukrainian].
4. Otsinochni metody vyznachennia ekonomichnoho ekvivalentu reaktyvnoi potuzhnosti [Evaluation methods for determining the economic equivalent of reactive power] / I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika, O.H. Lysenko. *Mining electromechanics and automation*. 2017 [in Ukrainian].

УДК 338.2

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-4>

СТАНДАРТИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ ТА ІНШИХ ТОВАРІВ

Дрешпак Наталія Станіславівна,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри електротехніки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-4453-1378

Статтю присвячено обговоренню основних кроків у впровадженні стандартів енергоефективності для побутових приладів та інших енергоспоживчих товарів у Європейському Союзі протягом 2021–2022 рр., суті оновленої пропозиції European Green Deal і розкриттю перспектив його вдосконалення. Виявлено питання енергоефективності й енергозбереження, які були внесені в поточну енергетичну політику ЄС унаслідок вторгнення Росії в Україну.

Паспортні дані побутових приладів інформують про ступінь енергоефективності приладу (витрати енергії на виконання функцій пристрою за його призначенням). Для пристроїв, які випускають промислові підприємства, у країнах ЄС введені стандарти з енергоефективності, тобто випуск продукції з низькими показниками енергоефективності заборонено. Досвід використання цих стандартів свідчить про правильність підходу до вирішення енергетичних проблем.

На сьогодні енергетичне маркування – це правила єдиного ринку, які, з одного боку, сприяють переходу до використання «чистої енергії» та прискорюють впровадження програм енергоефективності у всьому світі, а з іншого – полегшують процес розробки та вдосконалення єдиного для всіх сторін нормативно-правового регулювання. Дані про енергетичне маркування енергоспоживчих товарів вносяться виробниками до бази даних European Product Registry for Energy Labelling (EPREL).

Новий план ЄС щодо припинення залежності від російського імпорту викопного палива REPowerEU спрямований на енергозбереження, виробництво чистої енергії та диверсифікацію енергетичних поставок. У документі наголошується, що енергозбереження є найдешевшим, безпечним і чистим способом зменшення залежності від імпорту викопного палива з Росії. Політика ЄС щодо екологічного дизайну й енергетичного маркування є ключовою частиною порядку денного цього плану.

Ключові слова: енергетична ефективність, стандарти енергоефективності, енергетичне маркування, енергетична політика, ринкові реформи.

Dreshpak Nataliia. Energy efficiency standards for appliances and products

The article is devoted to the discussion of the main steps in the implementation of energy efficiency standards for household appliances and other energy-consuming products in the European Union during 2021–2022, the essence of the updated proposal of the European Green Deal, and the disclosure of prospects for its improvement. The issues of energy efficiency and energy saving, which were included in the current energy policy of the EU as a result of Russia's invasion of Ukraine, are identified.

The passport data of household appliances informs about the degree of energy efficiency of the appliance (energy consumption to perform the functions of the appliance according to its purpose). Energy efficiency standards have been introduced in EU countries for devices produced by industrial enterprises, i.e. production of products with low energy efficiency is prohibited. The experience of using these standards testifies to the correctness of the approach to solving energy problems.

Today, energy labelling are the rules of the single market, which, on the one hand, facilitate the transition to the use of “clean energy” and accelerate the implementation of energy efficiency programs worldwide, and on the other hand, facilitate the process of development and improvement of a uniform regulatory framework for all parties. Data on the energy labelling of energy-consuming goods is entered by manufacturers into the European Product Registry for Energy Labelling (EPREL). The new EU plan to end dependence on Russian fossil fuel imports, REPowerEU, is aimed at energy conservation, clean energy production, and diversification of energy supplies. The document emphasizes that energy conservation is the cheapest, safest, and cleanest way to reduce dependence on fossil fuel imports from Russia. EU policy on eco-design and energy labelling is a key part of the agenda of this plan.

Key words: energy efficiency, energy efficiency standards, energy labelling, energy policy, market reforms.

Вступ. У демократичних країнах, таких як країни ЄС, де інтереси простих людей захищає держава, прийнято державне рішення про необхідність широкого інформування споживачів стосовно властивостей товарної продукції.

Наприклад, чітко інформують про склад продуктів, які використовують у їжу. Доцільно зазначити, що не всі виробники харчової продукції в Україні бажають донести до споживача вміст компонентів продукту (часто інформація

доноситься мілкими літерами, і не завжди в повному обсязі). Інший приклад, коли паспортні дані побутових приладів інформують про ступінь енергоефективності приладу (тобто витрати енергії на виконання функцій пристрою за його призначенням). Так, наприклад, електричні пристрої, що мають енергоефективність класу А, забезпечують менші витрати енергії на виконання своїх функцій порівняно з пристроями класу В. Покупець товару сам вирішує, який пристрій придбати. Пристрій класу В має меншу ціну, але поточна щомісячна сплата за споживання енергії буде більшою. Вдалим прикладом забезпечення високої енергоефективності є застосування енергозберігальних діодних ламп для освітлення приміщень. За потужністю, що визначається одиницями Вт, їх світловий потік відповідає рівню сотень Вт лампи накаливання. Для пристроїв, які випускають промислові підприємства, у країнах ЄС введені стандарти з енергоефективності, тобто випуск продукції з низькими показниками енергоефективності заборонено. Це стосується не тільки промислової продукції, але і сфери житлового будівництва. Досвід використання цих стандартів свідчить про правильність підходу до вирішення енергетичних проблем. Розглянемо, які основні кроки здійснено в цьому напрямі в країнах ЄС останнім часом.

Матеріали та методи. У роботі розкривається досвід ЄС у впровадженні стандартів енергоефективності для побутових приладів та інших енергоспоживчих товарів. Визначається місце України на карті поширеності європейського маркування з енергоефективності EPREL. Аналізуються зміни пріоритетів розвитку енергетичної політики ЄС після вторгнення Росії в Україну. Наведені в роботі дані можуть бути використані для забезпечення сталого розвитку енергетики України, формування світогляду на проблеми й перспективи реформування енергетичного сектора, пов'язані з підвищенням ефективності використання енергетичних ресурсів.

Результати. 30 березня 2022 року Комісія Європейського Союзу представила оновлений пакет пропозицій **European Green Deal** з метою зробити екологічні продукти нормою використання у ЄС. Їх властивості повинні зберігатися протягом усього їхнього життєвого циклу від фази проєктування до щоденного використання, перепрофілювання та закінчення терміну служби [1]. Єврокомісія також представляє сьогодні нову стратегію виробництва текстилю. Він повинен бути більш довговічним, придатним для повторного використання й переробки

відходів. Третя пропозиція комісії спрямована на посилення внутрішнього ринку будівельної продукції та забезпечення її узгодженості із чинною нормативно-правовою базою. Нарешті, пакет містить пропозицію щодо введення нових правил інформування споживачів про екологічну стійкість продуктів. Це полегшить органам стандартизації роботу зі створення єдиних європейських стандартів.

European Green Deal базується на 3 ключових принципах переходу на «чисту енергію», які допоможуть зменшити викиди парникових газів і підвищити якість життя громадян, а саме [1]:

1) створення умов для безпечного та доступного енергопостачання ЄС;

2) розвиток повністю інтегрованого, взаємопов'язаного енергетичного ринку ЄС;

3) надання пріоритету вирішенню завдань енергоефективності, розвитку енергетичного сектора, заснованого переважно на відновлюваних джерелах енергії.

Єврокомісія бачить такі шляхи вирішення сформульованих завдань [1]:

- побудувати взаємопов'язані енергетичні системи країн таким чином, щоб мережі були краще інтегровані для використання відновлюваних джерел енергії;

- підвищити енергоефективність і покращити *екологічний дизайн продукції*;

- сприяти розумній інтеграції між секторами газових мереж;

- допомогти країнам ЄС подолати енергетичну недостатність;

- лобіювати застосування *енергетичних стандартів* і технології ЄС на глобальному рівні;

- розвинути потенціал вітрової енергії.

У рамках **European Green Deal** Єврокомісія ухвалила низку пропозицій щодо того, щоб політика ЄС щодо клімату, енергетики та транспорту була придатною для скорочення викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року порівняно з показниками 1990 року [1].

Єврокомісія також прийняла пропозицію щодо розширення сфери стандартизації виробів **Ecodesign and Energy Labelling Working Plan на період 2022–2024**, охоплюючи нові товари, пов'язані з енергетикою. Запропоновано оновити та збільшити інформативність даних стосовно товарів, які вже підлягають регулюванню, розглядаючи це як перехідний етап до вступу нових вимог. Зокрема, це стосується споживчої електроніки (смартфони, планшети, сонячні батареї).

У 2021 році Єврокомісія прийняла остаточний формат і візуальний вигляд нових етикеток

енергоефективності для 5 груп товарів, а саме це [1]:

- 1) посудомийні машини;
- 2) пральні та прально-сушильні машини;
- 3) холодильники, включно з холодильниками для зберігання вина;
- 4) лампи;
- 5) електронні дисплеї, включно з телевізійними моніторами та цифровими табло.

Цей перелік постійно розширюється. Наразі Єврокомісія здійснює дослідження та доповнює цей перелік товарів новими позиціями, які мають найвищий потенціал енергоефективності (батареї до електромобілів).

Як споживачі орієнтуються серед пропозицій ринку з погляду їх енергоефективності? У країнах ЄС створено вебпортал **Topten**, який спрямовує споживачів до використання найбільш енергоефективних приладів та автомобілів [3]. На ньому розміщено вичерпну інформацію про пристрої та критерії відбору для відповідних категорій товарів. Наприклад, наводяться таблиці з мінімальними вимогами до деяких категорій електричних пристроїв, рекомендовані споживачам ЄС як такі, що відповідають цим вимогам. Тобто випуск продукції з нижчими показниками енергоефективності в країнах ЄС заборонено.

Нові етикетки з маркуванням енергоефективності діють у магазинах та в Інтернеті з 1 березня 2021 року. Новим елементом у цих етикетках є QR-код, за допомогою якого споживачі зможуть отримати додаткову (некомерційну) інформацію, відскакувавши код звичайним смартфоном. Ці дані вносяться виробниками до бази даних **European Product Registry for Energy Labelling** (EPREL). Залежно від продукту на етикетках відображається не тільки споживання електроенергії, але й інша інформація з інтуїтивно зрозумілими піктограмами, потрібними для порівняння продуктів (наприклад, інформація про кількість використаної води за цикл прання, потужність установки, шум тощо). За даними Єврокомісії, лише у 2021 році вимоги до екологічного дизайну дали змогу заощадити споживачам 120 млн євро, і ця цифра може подвоїтись у 2022 році [1]. Отже, ми можемо зробити висновок, що енергетичне маркування, як інструмент енергозбереження, сприяє скороченню споживання паливно-енергетичних ресурсів (як-от природний газ і нафта), зменшує залежність ЄС від імпорту енергоносіїв і скорочує викиди парникових газів (тобто поліпшує екологічну ситуацію).

Зрозуміло, що для виробників товарів основною перевагою введення сертифікації

енергоефективності є доступ до європейського ринку збуту. Таким чином, сьогодні екодизайн ЄС та енергетичне маркування – це правила єдиного ринку, які, з одного боку, сприяють переходу до використання «чистої енергії» та прискорюють впровадження програм енергоефективності у всьому світі, а з іншого – полегшують процес розробки та вдосконалення єдиного для всіх сторін нормативно-правового регулювання. Тому Єврокомісія у своєму **Working Plan** з енергетичного маркування чітко вказала на необхідність значно збільшити ресурси, виділені на впровадження політики екологічного дизайну, і пропонує це здійснити іншим державам. Україна на карті поширеності стандартів енергетичної ефективності у світі (рис. 1) [2] замальована зеленим кольором, що означає, що енергетичне маркування в Україні повністю узгоджене із законодавством ЄС і розвивається *відповідно до європейських стандартів*.

8 березня 2022 року Європейська комісія ухвалила новий план щодо припинення залежності від російського імпорту викопного палива, що називається **REPowerEU** [4]. Це план спрямований на енергозбереження, виробництво чистої енергії та диверсифікацію енергетичних поставок. План підкріплено фінансовими та юридичними заходами для побудови нової енергетичної інфраструктури, яка потрібна сьогодні Європі. У документі наголошується, що **енергозбереження** є найдешевшим, безпечним і чистим способом зменшення залежності від імпорту викопного палива з Росії. Таким чином, **енергоефективність** стане основним компонентом плану **RePowerEU**.

Згідно з новим планом комісія ЄС запропонувала збільшити показники ЄС щодо підвищення енергоефективності до 32,5% до 2030 року [4]. Як зазначено в документі, Політика ЄС щодо екологічного дизайну та **енергетичного маркування** є ключовою частиною порядку денного цього плану.

У відповідь на труднощі та порушення глобального енергетичного ринку, спричинені вторгненням Росії в Україну, Європейська комісія також представила додаткову ініціативу **REPowerUkraine**, яка допоможе забезпечити енергопостачання й відновити українську енергетику після війни [5]. Сьогодні в цьому напрямі зроблено значні кроки. Так, 16 березня 2022 року відбулася епохальна для нашої країни подія – Україна приєдналася до **Єдиної енергосистеми Європи ENTSO-E**. Як заявив голова правління компанії «Укренерго» Володимир Кудрицький, «приналежність

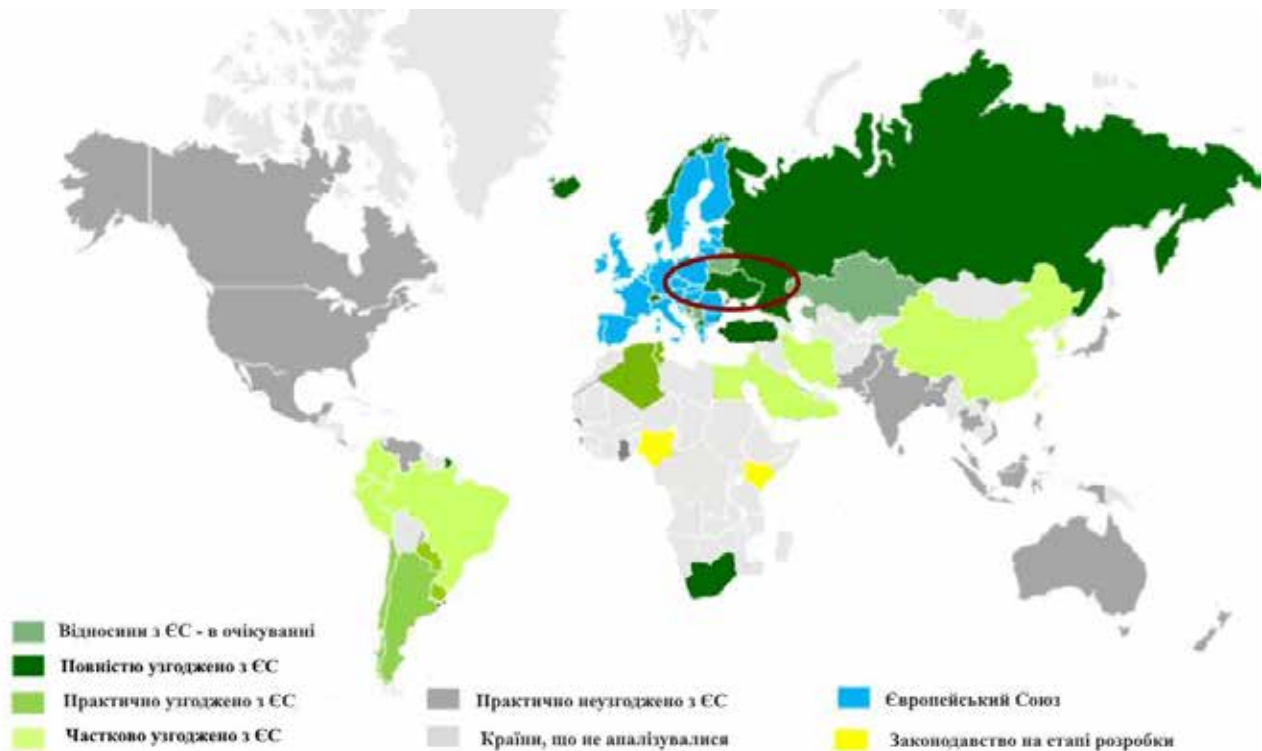


Рис. 1. Карта поширеності маркування ЄС з енергоефективності EPREL

нашої енергосистеми до ENTSO-E, та той факт, що Україна є частиною європейського енергооб'єднання, має в разі збільшити апетит інвесторів до вкладень в українську енергетику». Синхронізація нашої енергосистеми з європейською означає, що ми працюємо за європейськими правилами, які зрозумілі інвесторам. Тобто йдеться не тільки про фізичне з'єднання енергосистем, а про певні стандарти прозорості й певні правила, зрозумілі всім учасникам енергоринку, в тому числі інвесторам.

Слід підкреслити, що всі елементи ініціативи ЄС щодо України співзвучні цілям 4-го енергетичного пакета ЄС і не суперечать чинним законам і нормативно-правовим актам, які реалізують цілі та задачі енергетичної політики в Україні. Так, наприклад, згідно з «Новою енергетичною стратегією України до 2035 року» інтеграція української енергосистеми із зоною континентальної Європи **ENTSO-E** в режимі експлуатації мала відбутися до кінця 2025 року. Отже, зовнішні умови змінили хронологію подій і Україна наразі завершує етап інтеграції нашої енергосистеми раніше запланованого терміну, забезпечуючи виконання цілей енергетичної стратегії прискореними темпами. У документі **REPowerUkraine** викладено перелік дій, які ЄС планує реалізувати в енергетичній галузі

України найближчим часом [4]. Вони стосуються впровадження енергетичних стандартів ЄС в рамках 4-го енергетичного пакета та продовження реформування енергетичного сектора України відповідно до європейського вектора розвитку країни.

Висновки. Виходячи з аналізу Європейської системи маркування товарів з енергоефективності, можна зробити **такі висновки**:

1. Енергетичне маркування, як інструмент енергозбереження, сприяє скороченню споживання паливно-енергетичних ресурсів (як-от природний газ і нафта), зменшує залежність ЄС від імпорту енергоносіїв, скорочує викиди парникових газів, поліпшує екологічну ситуацію.

2. Європейський реєстр товарів енергетичного маркування EPREL забезпечує безпрецедентну прозорість ринку, відкриває нові можливості для розширення взаємодії зі споживачами ЄС і визначає значний потенціал для надання додаткових, високоефективних переваг для споживачів енергетичних товарів.

3. ЄС сигналізував Україні та світовій спільноті про готовність і надалі продовжувати допомагати Україні, просуваючи амбітну енергетичну, кліматичну політику та ринкові реформи відповідно до європейського вектора розвитку країни.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Green Deal: New proposals to make sustainable products the norm and boost Europe's resource independence. *EC*: website. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013 (accessed on 11.07.2022).
2. Impacts of the EU's ecodesign and energy/tyre labelling legislation on third jurisdictions. *EC*: website. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/201404_ieel_third_jurisdictions.pdf (accessed on 11.07.2022).
3. Best products in Europe. New energy labels 2021. *Topten*: website. URL: <https://www.topten.eu/private/page/energy-label> (accessed on 11.07.2022).
4. Factsheet on REPowerEU Actions. *EC*: website. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_22_3133 (accessed on 11.07.2022).

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 004.021:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-5>

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Бубліков Андрій Вікторович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3015-6754
Scopus Author ID: 55998596600

Іванський Ілля Іванович,

здобувач групи 151м-22-1
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Мета статті полягає в підвищенні енергоефективності роботи сонячної фотоелектричної установки завдяки створенню алгоритму автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі на основі аналізу генерованої потужності. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є величина коефіцієнта корисної дії фотоелектричної установки.

Методи. Для дослідження алгоритмів автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі в застосунку Simulink математичного пакета MATLAB розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування. При цьому використана відома математична астрономічна модель для визначення кута нахилу сонячних променів відносно земної поверхні. Для імітації збурюючих впливів на систему керування застосовані методи математичної статистики.

Результати. Проведене моделювання роботи сонячної установки, коли положення панелі визначається за запропонованим алгоритмом за умови сонячного дня. Результати дослідження дали змогу зробити висновок про ефективність запропонованого алгоритму: потужність змінюється у вузькому діапазоні поблизу свого максимального значення 100%. Коливання потужності зумовлені встановленим діапазоном $\pm 2,5\%$, коли сонячна панель залишається нерухомою. Коригування положення панелі відбувається за умови виходу потужності із цього діапазону. Далі проведене моделювання роботи сонячної фотоелектричної установки за умови використання запропонованого алгоритму керування положенням панелі для випадку хмарного дня. Закриття сонця хмарами імітовано шляхом випадкової зміни як величини зменшення потужності, так і тривалості цього зменшення. Результати дослідження дали змогу зробити висновок, що запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі залишається таким же ефективним і для випадку хмарної погоди. Після провалів потужності через перекриття сонця хмарами потужність після цього повертається до діапазону зміни значень 97–100% і не виходить із нього, поки не настане наступне затьмарення сонця. Це означає, що алгоритм після паузи, яка виникає через затьмарення сонця, продовжує працювати коректно. Наявність провалів потужності через закриття сонця хмарами не призводить до збою запропонованого алгоритму.

Практичне значення. Робота трекерів заснована на математичній астрономічній моделі, яка на основі знання про астрономічний час і координати сонячної електростанції дає можливість розрахувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі. Але це передбачає додаткові витрати на апаратне забезпечення через використання GPS-навігації. Щоб уникнути цього, сонячну панель можна використовувати, умовно кажучи, як давач виробленої панеллю потужності, відслідковуючи таким чином таке просторове положення панелі, яке забезпечує максимальну згенеровану потужність. Це дає змогу зробити запропонований у роботі алгоритм, адаптований, на відміну від трекерних систем, до хмарної погоди.

Ключові слова: сонячна установка, синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, MATLAB.

Bublikov Andrii, Ivanskyi Illia. Synthesis and study of the system for optimal position control of a solar photovoltaic installation

The goal is to increase the energy efficiency of the solar photovoltaic installation by creating an algorithm for automatically controlling the spatial position of the solar panel based on the analysis of the generated power. The

main criterion for the quality of the operation of the automatic control system is the value of the efficiency factor of the photovoltaic installation.

Method. A simulation model of the automatic control system was developed in the Simulink application of the MATLAB mathematical package to study the algorithms for automatic control of the spatial position of the solar panel. At the same time, a well-known mathematical astronomical model was used to determine the angle of inclination of the sun's rays relative to the earth's surface. Mathematical statistics methods are used to simulate disturbing effects on the control system.

The results. A simulation of the operation of the solar installation was carried out, when the position of the panel is determined according to the proposed algorithm under the condition of a sunny day. The research results made it possible to draw a conclusion about the effectiveness of the proposed algorithm: the power varies in a narrow range near its maximum value of 100%. Power fluctuations are due to a set range of $\pm 2.5\%$, when the solar panel remains stationary. The adjustment of the panel position takes place under the condition that the output power is out of this range. Next, the simulation of the operation of the solar photovoltaic installation was carried out under the condition of using the proposed algorithm for controlling the position of the panel for the case of a cloudy day. Obscuration of the sun by clouds is simulated by randomly varying both the amount of power reduction and the duration of this reduction. The results of the study allowed us to conclude that the proposed algorithm for automatic control of the position of the solar panel remains as effective even in the case of cloudy weather. After power dips due to cloud cover, the power then returns to the 97–100% variation range and does not exit until the next solar eclipse. This means that the algorithm continues to work correctly after a pause caused by a solar eclipse. The presence of power dips due to covering the sun by clouds does not cause the proposed algorithm to fail.

Practical meaning. The work of the trackers is based on a mathematical astronomical model, which, based on knowledge of astronomical time and the coordinates of the solar power plant, makes it possible to calculate the angle of incidence of the sun's rays on the earth's surface. However, this involves additional hardware costs due to the use of GPS navigation. To avoid this, the solar panel can be used, relatively speaking, as a transmitter of the power, generated by the panel, thus tracking the spatial position of the panel that provides the maximum generated power. This makes it possible to make the algorithm proposed in the work, which is adapted, unlike tracker systems, to cloudy weather.

Key words: solar installation, synthesis of automatic control system, simulation model, MATLAB.

Вступ. Сонячні електростанції, які ще кілька років тому можна було зустріти тільки на півдні України, стали поширеним новим бізнесом практично в кожному регіоні. Перед війною, наприклад у 2017 році, за даними Держенергоефективності, загальна потужність введених в експлуатацію сонячних електростанцій (СЕС) становила 211 МВт, що вдвічі більше за попередній рік [1]. На сьогодні більша частина фотоелектричних модулів використовуються як для вироблення електроенергії в побуті, так і для індустріальних цілей. Проте статистика щодо використання сонячного випромінювання для цілей енергетики свідчить про економічну неефективність і комерційну непривабливості фотоелектричних модулів (надалі ФМ) у зв'язку з їх ціною на ринку. Зниження вартості виробництва електроенергії можливе двома способами: зниження вартості власне ФМ і підвищення ефективності вироблення енергії. У розрізі цього дослідження йдеться про другий спосіб, для реалізації якого фотоелементи обладнуються системою стеження за Сонцем, що дає найкраще співвідношення вартості й ефективності.

Головною величиною, що впливає на вироблену потужність ФМ, є кут падіння сонячних променів на його поверхню, навіть за найефективнішого стаціонарного встановлення ФМ втрати вихідної потужності становлять до

50% порівняно з безперервним орієнтуванням на Сонце. Застосування систем стеження дає змогу змінювати кут нахилу ФМ протягом дня таким чином, щоб зберігати прямий кут падіння сонячних променів на його поверхню. Завдяки цьому можна збільшити кількість отриманого випромінювання, а отже, і величину потужності, що виробляється. Головною перевагою цього способу є те, що він підходить для вже працюючих СЕС, для цього потрібно лише внести зміни в опорну конструкцію ФМ.

Наразі для визначення траєкторії стеження на панелі встановлюється сонячний трекер – пристрій, призначений для відстеження положення Сонця й орієнтування несучої конструкції таким чином, щоб отримати максимальний ККД від батарей [2]. Робота трекерів заснована на математичній астрономічній моделі, яка на основі знання про астрономічний час і координати СЕС дає можливість розрахувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі. Але це передбачає додаткові витрати, крім того, потребує використання GPS-навігації. Щоб уникнути цього, сонячну панель можна використовувати, умовно кажучи, як давач виробленої панеллю потужності, відслідковуючи таким чином таке просторове положення панелі, яке забезпечує максимальну згенеровану потужність.

Мета наукової роботи полягає в підвищенні енергоефективності ФМ через створення алгоритму автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі на основі аналізу генерованої потужності. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є величина коефіцієнта корисної дії ФМ.

Для досягнення поставленої мети сформовані такі наукові завдання:

- створити імітаційну модель системи автоматичного керування просторовим положенням ФМ;
- запропонувати новий алгоритм пошуку оптимального положення сонячної панелі за критерієм максимуму виробленої ФМ електроенергії на основі аналізу замірної генерованої потужності з урахуванням її різких перепадів через хмарність;
- провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування просторовим положенням сонячної панелі, що відповідає реальним умовам роботи ФМ з погляду дії збурень.

Методи. З метою синтезу й дослідження системи автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки в застосунку Simulink пакету MATLAB створена імітаційна модель системи керування, схему якої наведено на рис. 1.

Модель системи керування на рис. 1 складається з п'яти основних частин (підсистем). Чотири із цих підсистем є основою моделі об'єкта керування.

У першій підсистемі відбувається імітація зміни часу за Грінвічем. Тобто часовий масштаб пакету MATLAB адаптується під інший часовий масштаб, який використовується зазвичай.

У другій підсистемі («Модель руху Сонця») реалізовано давно відомий алгоритм відстеження положення Сонця в певний момент часу, що використовується в трекерних системах [3]. Вхідними параметрами моделі є час за Грінвічем, координати точки спостереження, а також дата спостереження, а вихідними величинами є кути схилення γ (висота Сонця над горизонтом) та азимута ϕ (відхилення від напрямку на північ) Сонця. В астрономії використовують астрономічний азимут, що є кутом між об'єктом і напрямком на південь. Проте для спрощення сприйняття термінології в цій роботі здійснюватимемо відстеження Сонця за стандартним азимутом (на північ).

Кути нахилу Сонця відносно поверхні Землі, а також кути нахилу сонячної панелі відносно поверхні землі дають змогу обчислити кут нахилу променів Сонця відносно поверхні панелі. Це відбувається в підсистемі з відповідною назвою (рис. 1).

Остання із чотирьох підсистем моделі об'єкта керування призначена для визначення потужності, генерованої сонячною панеллю, у відносних одиницях у функції кута нахилу сонячних променів відносно поверхні панелі. Тож ця підсистема має назву «Розрахунок потужності на виході панелі» (рис. 1). Для визначення аналітичної залежності відносної потужності на виході панелі від кута падіння променів на її поверхню використана експериментальна характеристика, що показана на рис. 2 [4].

Апроксимація характеристики на рис. 2 проводилася за допомогою ступеневих поліномів.

Результати. За умови аналізу відомих алгоритмів оптимізації з метою синтезу системи

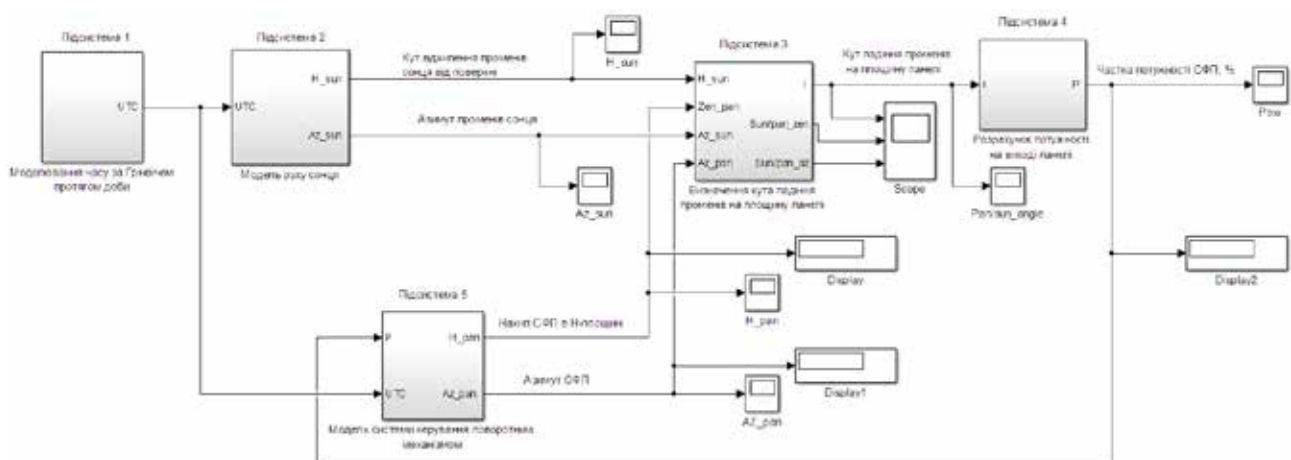


Рис. 1. Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки

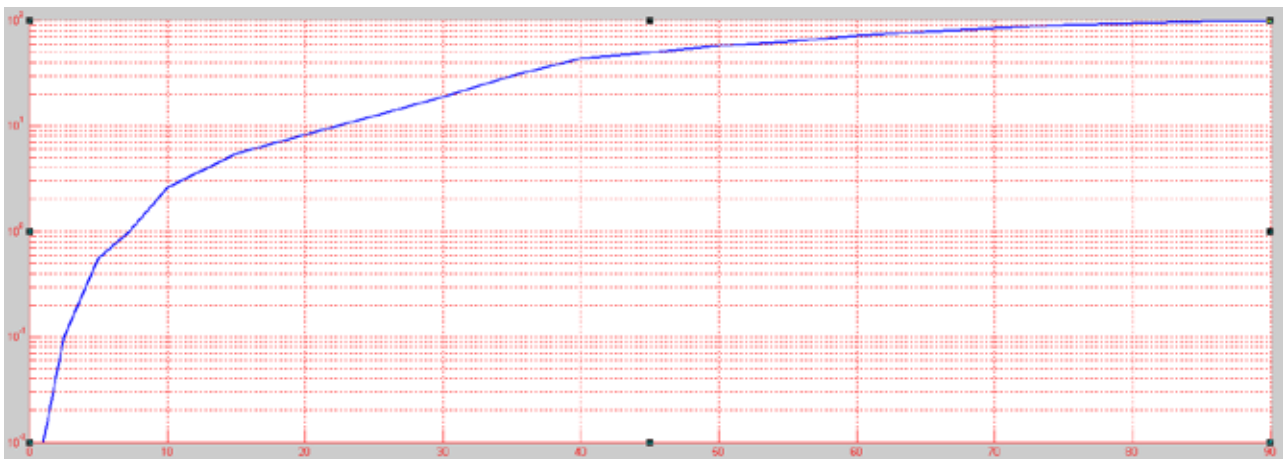


Рис. 2. Експериментально отримана залежність відносної потужності на виході сонячної панелі (вісь Y) від кута падіння променів на неї (вісь X)

автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки були визначені такі особливості процедури пошуку екстремуму залежності потужності, генерованої сонячною панеллю, від її положення:

1. Оптимізована функція, що описує залежність потужності на виході батареї, формується поступово в часі з повільною динамікою.

2. Ми завжди перебуватимемо в початковій точці, відносно якої напрям максимального екстремуму є відомим.

- 3 огляду на це в роботі запропоновано емпіричний алгоритм пошуку максимального екстремуму потужності, генерованої сонячною панеллю, залежно від двох змінних – кутів обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах.

Запропоновано новий алгоритм, адаптований до хмарної погоди, коли спостерігаються різкі «провали» потужності, і в основі його закладено такі положення:

1. Перед початком обґрунтовується крок зміни координат за горизонталлю та вертикаллю за попередньою теоретичною залежністю потужності від координат для конкретних умов. Приймається, що крок має бути таким, щоб відхилення поточної потужності від максимальної не перевищувало 2,5%.

2. Якщо відхилення поточної потужності від максимальної стало більше за 2,5%, починається покрокове дискретне переміщення тільки за однією координатою (у горизонтальній площині), доки не відбудеться перетинання оптимуму. Після цього починається аналогічне переміщення за іншою координатою (у вертикальній площині).

3. Якщо під час переміщення у вертикальній площині виникає багаторазне зменшення

потужності (на декілька кроків), робиться висновок щодо проходження зеніту. Після чого робиться переміщення панелі на крок назад і запускається процедура пошуку екстремуму, але напрям переміщення панелі у вертикальній площині змінюється на протилежний.

4. За умови значного зменшення потужності через хмарність запам'ятовується останнє значення потужності до зменшення і процедура пошуку екстремуму припиняється. За умови зникнення значного відхилення поточної потужності, генерованої панеллю, від збереженого значення пошук екстремуму починається заново.

На рис. 3 показано схему алгоритму, що реалізує описані вище положення у вигляді графа переходів.

Станами графа на рис. 3 є:

I – стан спокою (переміщення сонячної панелі не відбувається);

II – переміщення сонячної панелі в горизонтальній площині;

III – переміщення сонячної панелі у вертикальній площині.

Розглянемо умови та дії переходів між станами схеми алгоритму на рис. 3.

Умовою переходу № 1 є знаходження відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 у межах $\pm 2,5\%$ (ширина цього діапазону може змінюватися, і потрібно провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за одиницю часу).

Ще однією умовою переходу № 1 є присутність значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 понад 5% (цей граничний рівень може змінюватися, і потрібно

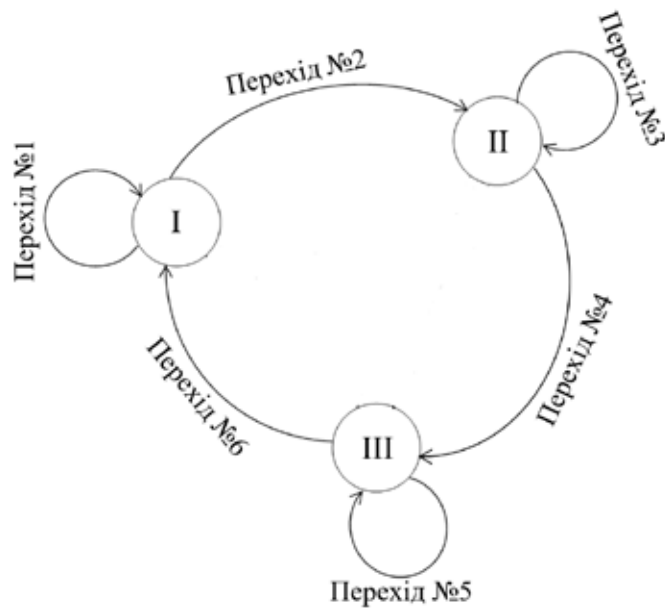


Рис. 3. Схема алгоритму автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки

провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за певний інтервал часу).

Дією у стані I є формування та постійне оновлення вектора значень заміряної потужності на поточному, попередньому та позапередньому кроках виклику програми за умови, якщо немає значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1.

Умовою переходу зі стану 1 до стану 2 (перехід № 2 на рис. 3) є знаходження відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 у діапазоні значень від 2,5 до 5%. Дією цього переходу є зміна значення змінної, що відповідає стану II, з нуля на одиницю.

Умовою переходу № 3 на рис. 3 є відсутність визначення максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання сонячної панелі в горизонтальній площині. Також умовою є присутність значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1. У разі виконання останньої умови жодних дій не відбувається під час цього переходу. За першої умови відбувається збільшення кута обертання на крок (у роботі взято 1 град., але потрібно провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за одиницю часу). Потім має місце очікування закінчення переміщення панелі та замірювання потужності. Після

цього відбувається аналіз значень потужності на трьох останніх ітераціях з метою пошуку екстремуму.

Умовою переходу № 4 є визначення екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі в горизонтальній площині. При цьому змінна, яка відповідає третьому стану, змінює своє значення з 0 на 1 (інші встановлюються в нуль).

Умовою переходу № 5 на рис. 3 є відсутність проходження максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. Дією є пошук максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. Алгоритм пошуку такий самий, як у стані II, тільки додана процедура перевірки проходження зеніту. Якщо на двох ітераціях поспіль за переміщення панелі фіксується зменшення потужності, відбувається зміна напрямку переміщення панелі з пошуком максимального екстремуму.

Умовою переходу № 6 є визначення екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. При цьому змінна, яка відповідає першому стану, змінює своє значення з 0 на 1 (інші встановлюються в нуль).

Для реалізації запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі в застосунку Simulink пакету MATLAB як складова частина імітаційної моделі системи керування розроблена підсистема (модель системи керування поворотним механізмом на

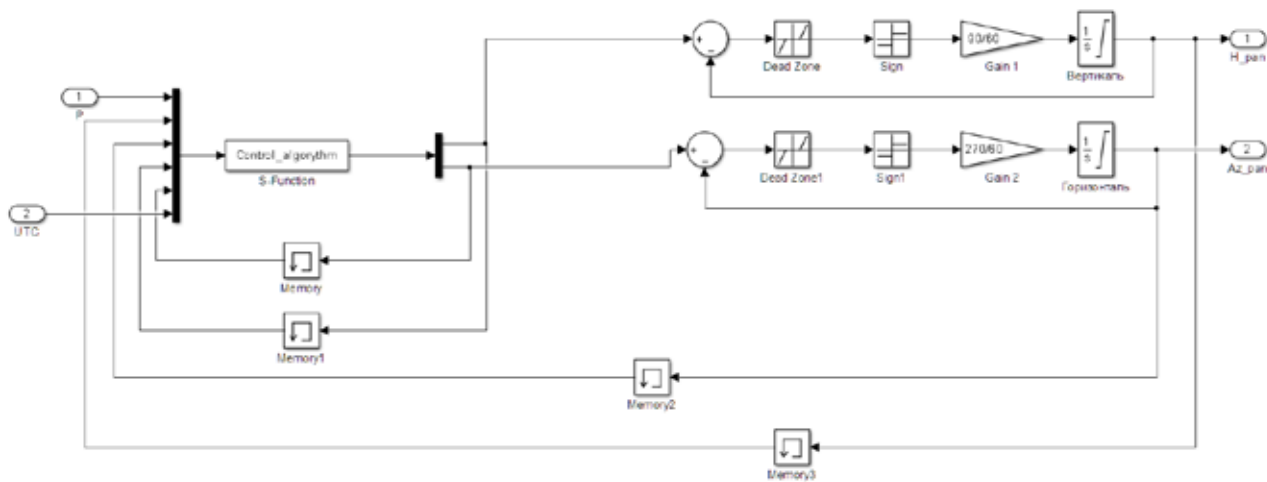


Рис. 4. Схема підсистеми, що реалізує алгоритм автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки

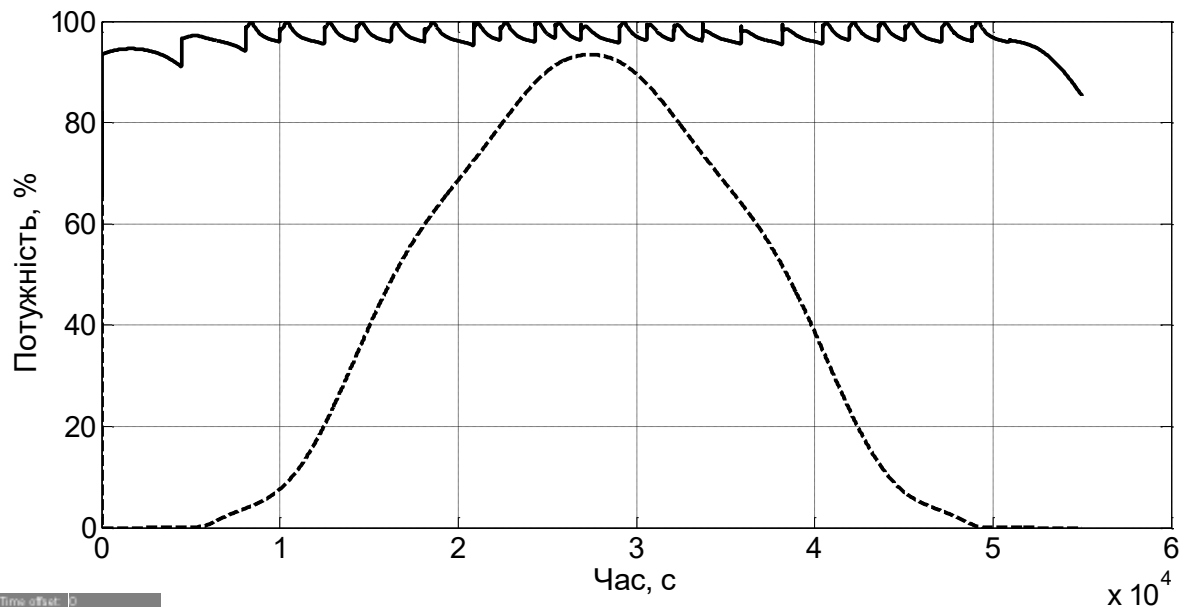


Рис. 5. Зміна у часі потужності, генерованої сонячною фотоелектричною установкою: пунктирна лінія – нерухоме положення панелі; суцільна лінія – рухоме положення панелі (без хмарності)

рис. 1). Схему всередині цієї підсистеми наведено на рис. 4.

У правій частині схеми на рис. 4 реалізовані моделі локальних систем автоматичного керування кутами обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах.

Враховані технічні характеристики приводів механізму переміщення сонячної установки (повний хід за 1 хв). Фактично модель привода механізму переміщення представлена інтегратором. Тобто не враховані дуже малі інерційності приводів (постійна часу близько 0,1 с). Регулятор у цих локальних моделях реалізований за допомогою блоків Dead Zone та Sign. Через мертву зону маємо

статичну похибку 0,01 град., яка не впливає на якість автоматичного керування положенням панелі.

Запропонований алгоритм автоматичного керування положенням панелі реалізовано на основі s-функції Control_alorythm.

Далі проведене дослідження ефективності запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі за допомогою розробленої імітаційної моделі системи керування.

Зокрема, проведене моделювання роботи сонячної установки, коли положення панелі визначається за запропонованим алгоритмом (рис. 5).

Результати моделювання на рис. 5 наведені для сонячного дня, коли сонце не закривається хмарами.

З рис. 5 можна зробити висновок про ефективність запропонованого алгоритму: потужність змінюється у вузькому діапазоні поблизу свого максимального значення 100%. Коливання потужності зумовлені встановленим діапазоном $\pm 2,5\%$, коли сонячна панель залишається нерухомою. Коригування положення панелі відбувається за умови виходу потужності із цього діапазону.

Взагалі ширина цього діапазону, який фактично визначає період коригування положення сонячної панелі в часі, має бути обґрунтована, а її вплив на кількість електроенергії, згенерованої панеллю за одиницю часу, має бути додатково досліджена. З одного боку, чим менша ширина цього діапазону, тим менша буде амплітуда коливання потужності та більше її середнє значення. Отже, збільшиться кількість згенерованої електроенергії. З іншого боку, це призведе до більш частих рухів панелі та збільшення електроенергії, яка витрачається приводами механізму переміщення сонячної установки. Тож має бути певний оптимум за шириною діапазону, що визначає частоту коригувань положення панелі.

Таким чином, запропонований алгоритм автоматичного керування підтвердив свою ефективність для випадку безхмарного дня.

Далі проведене моделювання роботи сонячної фотоелектричної установки за умови

використання запропонованого алгоритму керування положенням панелі для випадку хмарного дня. Закриття сонця хмарами імітовано шляхом випадкової зміни як величини зменшення потужності, так і тривалості цього зменшення. На рис. 6 періодичні моменти закриття сонця хмарами чітко простежуються.

З рис. 6 можна зробити висновок, що запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі залишається таким же ефективним і для випадку хмарної погоди.

З рис. 6 також можна відслідкувати, що після провалів потужності через перекриття сонця хмарами потужність після цього повертається до діапазону зміни значень 97–100% і не виходить з нього, доки не настане наступне затьмарення сонця. Це означає, що алгоритм після паузи, що виникає через затьмарення сонця, продовжує працювати коректно. Наявність провалів потужності через закриття сонця хмарами не призводить до збою запропонованого алгоритму.

Це підтверджують також рис. 7 і 8. Як бачимо, фактично характеристики на цих рисунках відображають зміну положення сонця в часі, і це логічно, оскільки, згідно із запропонованим алгоритмом, панель постійно «йде» за сонцем, повторюючи його траєкторію руху в небі, щоб його промені падали на поверхню панелі під кутом, близьким до 90 градусів. Єдина відмінність – за умови хмарної погоди збільшилися

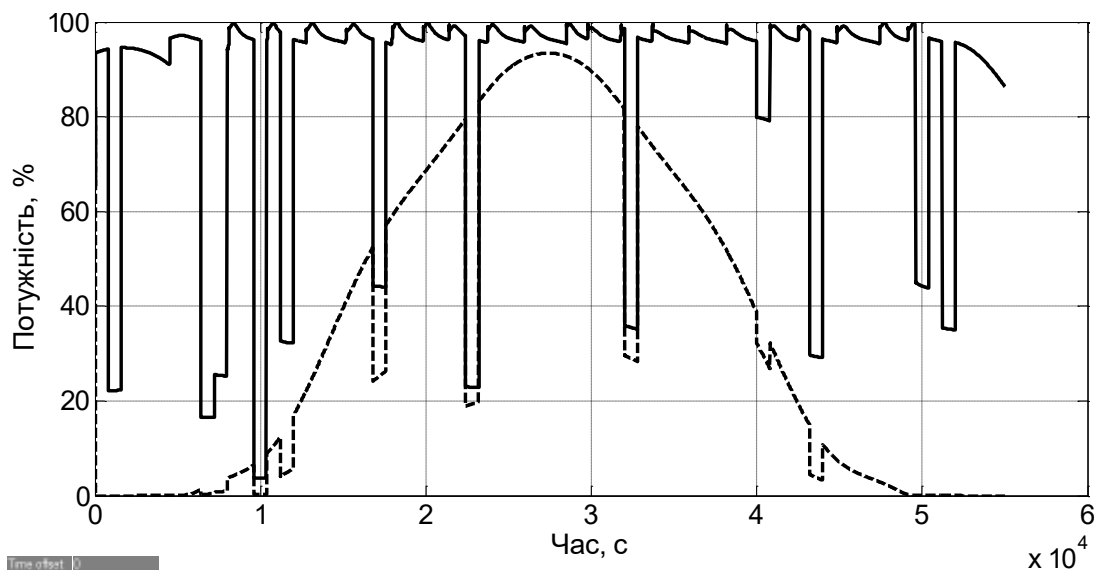


Рис. 6. Зміна в часі потужності, генерованої сонячною фотоелектричною установкою: пунктирна лінія – нерухоме положення панелі; суцільна лінія – рухоме положення панелі (за наявності хмарності)

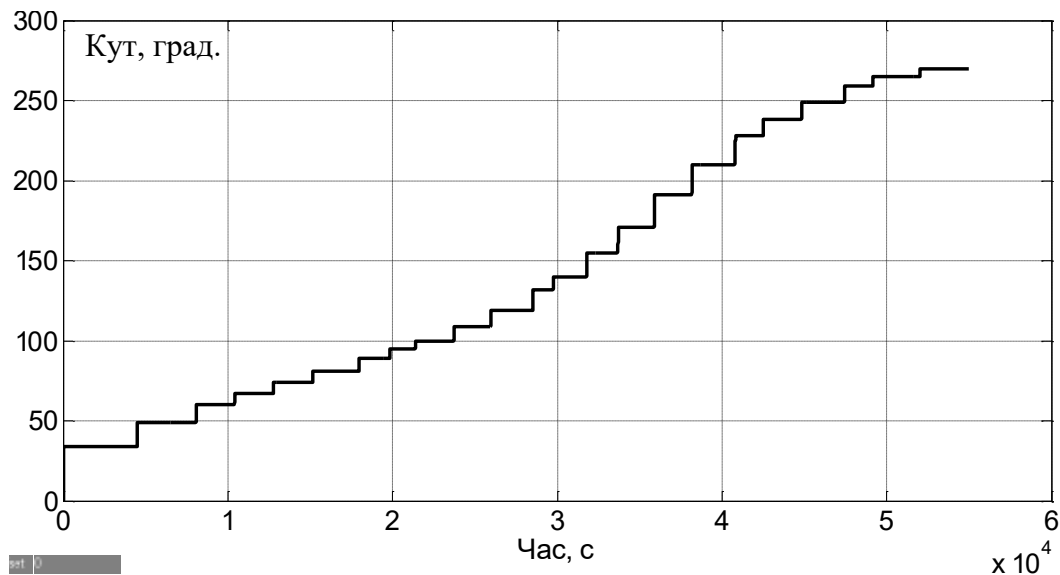


Рис. 7. Зміна в часі кута обертання панелі в горизонтальній площині (за наявності хмарності)

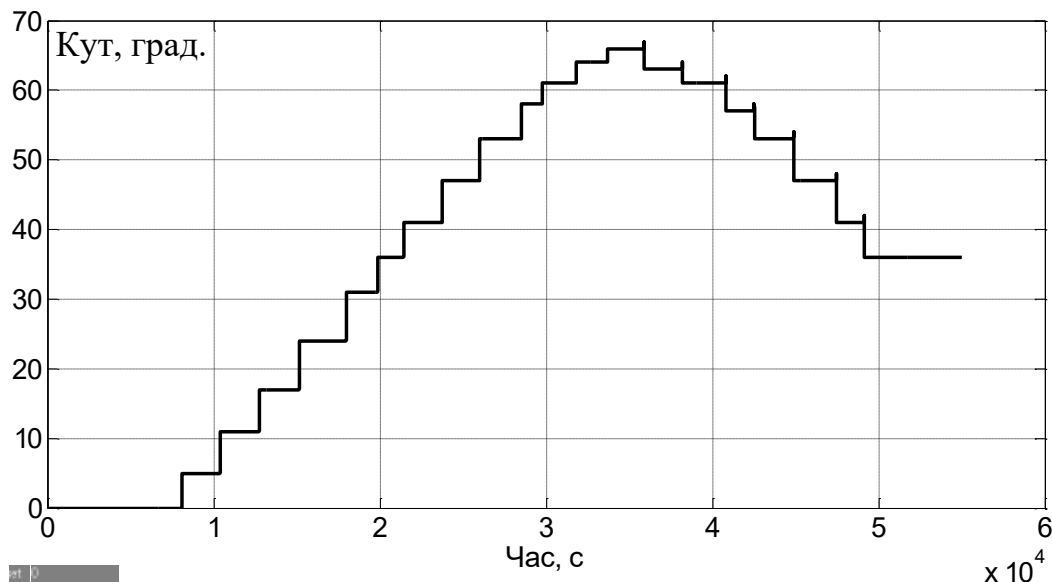


Рис. 8. Зміна в часі кута обертання панелі в вертикальній площині (за наявності хмарності)

періоди коригування положення панелі (періоди зміни кутів), що також цілком логічно, оскільки через закриття сонця хмарами не завжди виходить коригувати положення панелі вчасно, коли потужність виходить із діапазону зміни значень $\pm 2,5\%$.

Висновки

1. Розроблена модель сонячної фотоелектричної установки як об'єкта автоматизації. Вхідними величинами моделі є кути обертання сонячної панелі, а вихідною величиною – потужність, генерована панеллю. При цьому збуренням є постійна зміна максимального екстремуму залежностей потужності від кутів

обертання панелі через постійне переміщення Сонця. В основі моделі закладені відомі астрономічні закони, які дають змогу визначати положення Сонця відносно Землі та розраховувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі.

2. У роботі вперше запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі за критерієм забезпечення максимальної потужності, генерованої панеллю, протягом усього дня. На відміну від відомих трекерних систем, у запропонованому алгоритмі не визначається кут нахилу сонячних променів відносно поверхні Землі залежно від астрономічного

часу, геолокації тощо, а відбувається періодичний пошук максимального екстремуму потужності у функції кута обертання спочатку в горизонтальній площині, а потім у вертикальній. Таким чином, сонячна панель фактично сама є давачем, що дає змогу забезпечити зворотний зв'язок у системі керування через замірювання потужності в умовах незмінного навантаження.

3. Дослідження роботи сонячної фотоелектричної установки за допомогою розробленої

імітаційної моделі системи автоматичного керування дало змогу підтвердити ефективність запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі. Як у сонячний день, так і в хмарну погоду потужність, генерована панеллю, змінювалась у вузькому діапазоні значень 97–100%, а характер зміни кутів обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах повторював траєкторію руху сонця в небі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Савчук Є. В. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. *WORLD SCIENCE*. 2019. Режим доступу: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/download/182/174/> (дата звернення: 21.01.2024).
2. Данко В. М., Смутко С. В., Поліщук О. С. Розробка конструкції трекерної системи для сонячних панелей. *Herald of Khmelnytskyi national university*. 2017. Режим доступу: <http://surl.li/npplt> (дата звернення: 21.01.2024).
3. Даффет-Сміт П. (1982) Практична астрономія з калькулятором. 176 с.
4. Торопцев Г. (2019). Автоматизація процесу керування сонячною фотоелектричною установкою. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». 71 с.

REFERENCES:

1. Savchuk, Ye.V. (2019). Perspektivy rozvytku soniachnoi enerhetyky v Ukraini [Prospects for the development of solar energy in Ukraine]. *WORLD SCIENCE*. URL: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/download/182/174/> [in Ukrainian].
2. Danko, V.M., Smutko, S.V., Polishchuk, O.S. (2017). Rozrobka konstrukttsii trekernoi systemy dlia soniachnykh panelei [Development of the design of the tracker system for solar panels]. *Herald of Khmelnytskyi National University*. URL: <http://surl.li/npplt> [in Ukrainian].
3. Daffet-Smit, P. (1982). Praktychna astronomiia z kalkuliatorom [Practical astronomy with a calculator]. 176 p.
4. Toroptsev, H. (2019). Avtomatyzatsiia protsesu keruvannia soniachnoiu fotoelektrychnoiu ustanovkoiu [Automation of the process of controlling a solar photovoltaic installation]. *Natsionalnyi tekhnichniy universytet «Dniprovska politehnika»*. 71 p.

УДК 622.232.72.063.43:681.5

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-6>

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА

Бубліков Андрій Вікторович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-3015-6754
Scopus Author ID: 55998596600

Яцюк Дмитро Степанович,

аспірант групи 151А-21
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0007-3439-9282

Метою є підвищення ефективності роботи видобувного комбайна через удосконалення алгоритму автоматичного керування швидкістю переміщення виконавчого органу.

Основним критерієм якості процесу керування є забезпечення мінімального часу перехідного процесу на виході системи керування за умови відсутності перевищення перерегулюванням рівня 10%.

Методи. Для дослідження систем автоматичного керування швидкістю переміщення виконавчого органу видобувного комбайна використані методи теорії автоматичного керування, а також системний аналіз. Дослідження проводилося на основі обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу системи. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування проведене з використанням методів математичної статистики.

Результати. Встановлено, що для кожного функціонального режиму переміщення виконавчого органу комбайна в закономірностях зміни критеріїв ефективності протікання перехідного процесу в разі зміни параметрів регулятора, з урахуванням обмежень на критерії, присутні мінімальні екстремуми, що відповідають оптимальним настройкам регулятора. При цьому для кожного функціонального режиму переміщення виконавчого органу комбайна ці екстремуми мають місце для різних сполучень значень параметрів регулятора швидкості переміщення виконавчого органу.

Практичне значення. Виявлені закономірності щодо залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від параметрів регулятора швидкості руху виконавчого органу видобувного комбайна дадуть змогу врахувати змінність властивостей комбайна як об'єкта автоматичного керування в алгоритмі керування сучасних регуляторів, а отже, збільшити продуктивність роботи комбайна та зменшити зольність вугілля завдяки більш точному відпрацюванню гіпсометрії вугільного пласта.

Ключові слова: видобувний комбайн, тонкі вугільні пласти, регулятор швидкості переміщення органу.

Bublikov Andrii, Yatsiuk Dmytro. Study and synthesis of a system for automatic speed control of movement of the executive body of a mining machine

The goal is to increase the efficiency of the mining combine by improving the algorithm of automatic control of the speed of movement of the executive body.

The main criterion for the quality of the control process is to ensure the minimum time of the transient process at the output of the control system, provided that the level is not exceeded by over-regulation of 10%.

Methods. The methods of the theory of automatic control, as well as system analysis, were used to study the systems of automatic control of the speed of movement of the executive body of the mining combine. The research was conducted on the basis of computational experiments using computerized methods of system synthesis. Evaluation of the effectiveness of the automatic control process was carried out using the methods of mathematical statistics.

The results. It was established that for each functional mode of movement of the combine's executive body in the regularities of changing of the criteria of the efficiency of the transition process, when the parameters of the regulator are changed, taking into account the restrictions on the criteria, the minimal extremes are presented, that correspond to the optimal settings of the regulator. At the same time, for each functional mode of movement of the executive body of the combine, these extremes occur for different combinations of values of the parameters of the speed controller of the movement of the executive body.

Practical meaning. The revealed regularities regarding the dependence of the quality criteria of the automatic control system on the parameters of the speed regulator of the executive body of the mining combine will allow

to take into account the variability of the properties of the combine as an object of automatic control in the control algorithm of modern regulators, and due to this increase the productivity of the combine and reduce the ash content of coal due to more accurate working out of coal seam hypsometry.

Key words: *mining combine, thin coal seams, executive body movement speed regulator.*

Вступ. Технологічний процес видобутку вугілля в забої за умови підземного видобутку вугілля шахтним підприємством, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є складовою частиною гірничої галузі України.

Більшість державних вугледобувних підприємств, частка яких у видобутку вугілля оцінюється на рівні до 30%, є шахтами з незначною потужністю вугільних пластів і складними гірничо-геологічними умовами.

Унаслідок військових дій на Донбасі з 2013 року відбулося різке падіння видобутку вугілля – порівняно з періодом до 2013 року видобуток вугілля всіх груп, крім антрацитової, впав більш ніж на 50%, а видобуток антрацитової групи взагалі став неможливим [1]. Але, незважаючи на це, в Україні частка електроенергії, що виробляється за допомогою вугілля, усе ще є досить значною та складає близько третини від усієї виробленої електроенергії. Крім того, слід враховувати суттєвий потенціал вугільного ресурсу нашої країни – загальні ресурси вугілля в Україні із заляганням до 1500 м, за різними оцінками, становлять від 100 до 117,5 млрд тонн, близько половини з яких є підтвердженими (45–56 млрд тонн) [2].

Таким чином, з оглядом на складну економічну ситуацію України, через що поки неможливо кардинальним чином модернізувати енергосистему країни, видобуток вугілля протягом найближчих десятиріч є питанням енергетичної безпеки нашої держави, оскільки вугілля є стратегічно важливим енергоресурсом для паливно-енергетичної галузі України [2, 3].

Видобувний комбайн є складовою частиною очисного механізованого комплексу та виконує такі функції:

- руйнування прошарку вугілля за рахунок обертального руху виконавчих органів, поступального руху корпусу комбайна вздовж забою та поступального руху виконавчих органів за гіпсометрією пласта;

- часткове навантаження зруйнованого вугілля на забійний конвеєр за рахунок обертального руху виконавчих органів.

Рух виконавчих органів і корпусу комбайна забезпечують такі підсистеми [4]:

- корпусна підсистема, яка призначена для об'єднання окремих корпусних вузлів у конструктивно цілісний технічний об'єкт;

- підсистема привода виконавчого органу, яка призначена для забезпечення обертального руху цього органу з відповідними рушійними моментами;

- підсистема переміщення, за допомогою якої рухається корпусна підсистема комбайна з необхідними значеннями швидкості та тягових зусиль;

- підсистема підвіски та переміщення виконавчого органу (ВО), яка призначена для поступальних переміщень виконавчого органу відносно основних жорстко з'єднаних вузлів корпусної підсистеми з відповідними швидкостями та зусиллями (та підтримки заданого положення виконавчого органу відносно вказаних вузлів).

Аналіз видобувного комбайна як об'єкта автоматизації з погляду поставленого завдання показав, що його структура є одномірною з одним керуючим входом (на пілотний електрогідророзподільувач) і одним керованим виходом (швидкість переміщення штока гідродомкрата).

На керуючий вхід з урахуванням того, що пілотний електрогідророзподільувач має пропорційний багатопозиційний поляризований електромагніт, подається електричний сигнал, що змінюється в певному діапазоні (якщо розподільувач не має власного контролера), або керуюча команда по мережі (якщо можливе підключення до контролера розподільувача через канал передачі даних).

Керованою величиною є швидкість переміщення виконавчого органу (ВО) видобувного комбайна.

Збуренням № 1 є перепади тиску в гідросистемі комбайна через зменшення продуктивності насосу внаслідок просадки напруги в електромережі або через підключення до гідросистеми інших споживачів.

Збуренням № 2 є так звана просадка гідропривода за умови руйнування гірничого масиву та створення через це опору руху ВО, а отже, руху штока гідродомкрата. Створення значних опорів переміщенню штока гідродомкрата в процесі руйнування гірничого масиву викликає явище «просадки» гідропривода, коли за аналогічного тиску робочої рідини на поршень гідродомкрата його шток рухається з меншою швидкістю.

Структурну схему системи автоматичного керування швидкістю переміщення

виконавчого органу видобувного комбайна наведено на рис. 1.

Як видно зі структурної схеми системи автоматичного керування на рис. 1, у разі автоматичного керування швидкістю переміщенням органу використовується принцип керування за від'ємним зворотним зв'язком на основі подачі на вхід регулятора відхилення фактичного значення керованої величини від уставки.

Виконавчим пристроєм є пропорційний багатопозиційний поляризований електромагніт пілотного електрогідророзподільвача.

Об'єктом керування є гідроциліндр гідродомкрата підсистеми переміщення виконавчого органу видобувного комбайна по висоті.

Керуючим впливом є електричний сигнал на електромагніт, що змінюється в певному діапазоні (якщо розподільвач не має власного контролера), або керуюча команда по мережі (якщо можливе підключення до контролера розподільвача через канал передачі даних). Фактичною керованою величиною є швидкість переміщення штоку гідроциліндра, а результатом її вимірювання може бути електричний сигнал, що змінюється в певному діапазоні (якщо датчик не має власного контролера), або відносна величина, що характеризує фактичну швидкість та змінюється в більш зручному діапазоні, наприклад від 0 до 100% (якщо датчик має власний контролер і результат вимірювання передається мережею з попередньою обробкою).

Для досягнення основної мети – забезпечення мінімального часу перехідного процесу на виході системи автоматичного керування без перевищення перерегулюванням рівня 10%, з урахуванням дії збурюючих впливів, потрібно виконати такі завдання дослідження:

– для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування швидкістю переміщення виконавчого органу видобувного комбайна;

– обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи;

– провести дослідження критеріїв якості керування від параметрів регулятора для різних режимів переміщення органу;

– для кожного з обґрунтованих режимів переміщення виконавчого органу на основі встановлених залежностей критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора визначити оптимальні настройки регулятора швидкості переміщення органу;

– провести дослідження ефективності роботи запропонованого комплексного регулятора швидкості переміщення виконавчого органу видобувного комбайна.

Методи. Модель об'єкта керування має за вхідний сигнал керуючий вплив на пілотний електрогідророзподільвач (команда по каналу передачі даних щодо уставки швидкості переміщення органу в абсолютних одиницях) і за вихідний сигнал – фактичну швидкість переміщення органу. Вона складається з трьох основних частин – імітаційної моделі пілотного електрогідророзподільвача, імітаційної моделі силового гідророзподільвача та імітаційної моделі гідроциліндра (рис. 2).

Вихідним сигналом імітаційної моделі пілотного електрогідророзподільвача є витрати рідини через нього $Q_{п.зр}$ (діапазон зміни – від 0 до 13 л/хв). З урахуванням діапазонів зміни вхідної та вихідної величин для цього елемента моделі його коефіцієнт підсилення дорівнює:

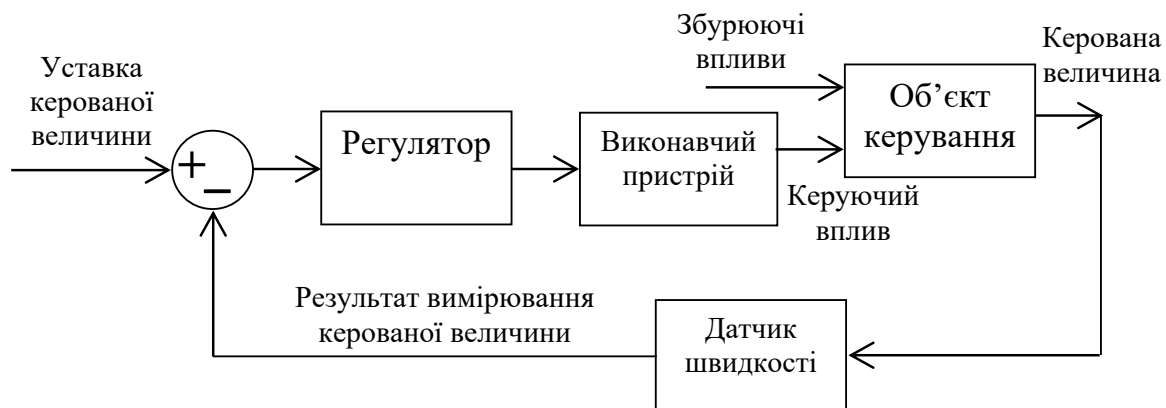


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного керування швидкістю переміщення виконавчого органу видобувного комбайна



Рис. 2. Структурна схема моделі об'єкта управління

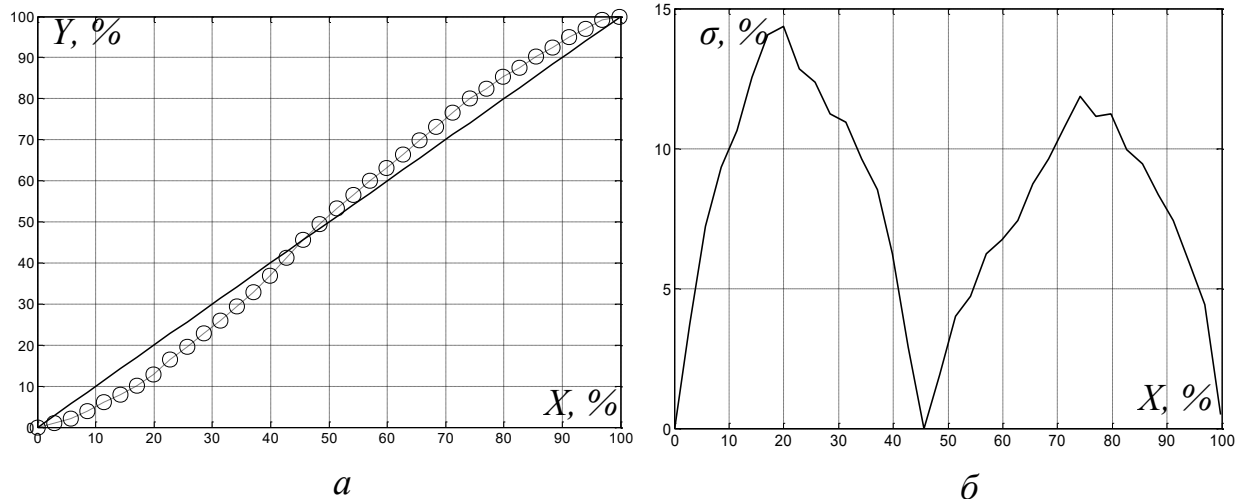


Рис. 3. Результат лінійної апроксимації експериментальної статичної характеристики пілотного електрогідророзподільвача (а) та відносна похибка апроксимації (б)

$$K_{п.гр} = \frac{13}{0,4}, \text{ л·с/хв·м.}$$

Вихідним сигналом імітаційної моделі силового гідророзподільвача є витрати рідини через нього $Q_{с.гр}$ (діапазон зміни – від 0 до 170 л/хв). З урахуванням діапазонів зміни вхідної та вихідної величин для цього елемента моделі його коефіцієнт підсилення дорівнює:

$$K_{с.гр} = \frac{170}{13}.$$

Кількість рідини, що потрапляє в порожнину гідроциліндра в одиницю часу $Q_{гц}$, може бути різною навіть за незмінної витрати рідини через силовий гідророзподільвач $Q_{с.гр}$, оскільки за умови зменшення продуктивності насоса в гідросистемі комбайна через пониженої напругу в електромережі або через підключення до гідросистеми іншого споживача через силовий розподільвач починає проходити менше рідини, навіть коли його поршень не змінював положення. Тобто має місце вплив збурення на об'єкт керування, який враховується через віднімання від витрат рідини на вході гідроциліндра $Q_{гц}$ величини $\Delta Q_{нас}$, що дорівнює величині зменшення витрат рідини на вході гідроциліндра внаслідок зменшення продуктивності насоса (емпірична величина).

Вихідним сигналом імітаційної моделі гідроциліндра є фактична швидкість переміщення його штока $V_{шт}$ (діапазон зміни – від 0 до 0,4 м/с). З урахуванням діапазонів зміни вхідної та вихідної величин для цього елемента моделі його коефіцієнт підсилення дорівнює:

$$K_{гц} = \frac{0,4}{170}, \text{ м·хв/л·с.}$$

Коефіцієнт підсилення гідроциліндра $K_{гц}$ є змінною величиною, оскільки для гідроциліндрів властиве таке явище, як «просадка» – зменшення швидкості переміщення штоку внаслідок збільшення опору переміщенню штока. Тобто опір переміщенню штока внаслідок присутності зовнішнього навантаження є другим збурюючим впливом, що враховується в моделі об'єкта керування через коригувальний коефіцієнт k_F , який є емпіричною величиною.

Далі проведемо ідентифікацію кожного елемента моделі об'єкта керування на основі експериментальних даних.

Аналіз експериментальної статичної характеристики пілотного електрогідророзподільвача (круглі маркери на рис. 3, а) показує, що вона є нелінійною [5]. Це підтверджує рис. 3, б, на якому видно, що за апроксимації експериментальної статичної характеристики прямою лінією (суцільна лінія на рис. 3, а) виникають

відносні похибки апроксимації понад 10%, що є неприпустимим.

Тому за допомогою інструмента застосунку Simulink Basic Fitting проведена апроксимація експериментальної статичної характеристики пілотного електрогідророзподільювача ступеневим поліномом третього порядку (рис. 4).

Вид полінома показаний у верхньому вікні на рис. 4 справа. На цьому вікні також можна побачити візуально, що апроксимуюча крива проходить досить близько до експериментальної статичної характеристики. Кількісна оцінка точності апроксимації показана на нижньому рис. 4 справа, з якого видно, що похибка апроксимації у відносних одиницях не перевищує 1,5%. Це підтверджує високу точність апроксимації цієї експериментальної характеристики ступеневим поліномом третього порядку.

Зазначимо, що експериментальна статична характеристика пілотного електрогідророзподільювача дана у відносних одиницях, де за віссю абсцис відносно переміщення якоря електромагніту розподільювача, а за віссю ординат – відносна кількість рідини, що проходить через розподільювач в одиницю часу.

Далі визначимо динамічну модель пілотного електрогідророзподільювача на основі експериментальної кривої розгону [5]. Для цього використаємо спеціальний інструмент програми MATLAB System Identification Tool.

Результат ідентифікації динамічної моделі пілотного електрогідророзподільювача показаний на рис. 5.

З рис. 5 можна зробити висновок, що динамічні властивості пілотного електрогідророзподільювача описуються аперіодичною ланкою з постійною часу 0,155 с. Коефіцієнт підсилення цього елемента системи за результатами ідентифікації становив 0,13 л/хв·%. Він відрізняється від розрахованого вище коефіцієнта підсилення пілотного електрогідророзподільювача, оскільки експериментальна крива розгону отримана для випадку вхідної величини у відносних одиницях відповідно до статичної характеристики елемента (рис. 3).

Далі визначимо динамічну модель силового гідророзподільювача на основі експериментальної кривої розгону також за допомогою спеціального інструмента програми MATLAB System Identification Tool [6].

Результат ідентифікації динамічної моделі силового гідророзподільювача показаний на рис. 6.

З рис. 6 можна зробити висновок, що динамічні властивості силового гідророзподільювача описуються аперіодичною ланкою з постійною часу 0,377 с. Коефіцієнт підсилення цього елемента системи за результатами ідентифікації становив 13,1.

Ідентифікація динамічної моделі гідроциліндра також проводиться на основі

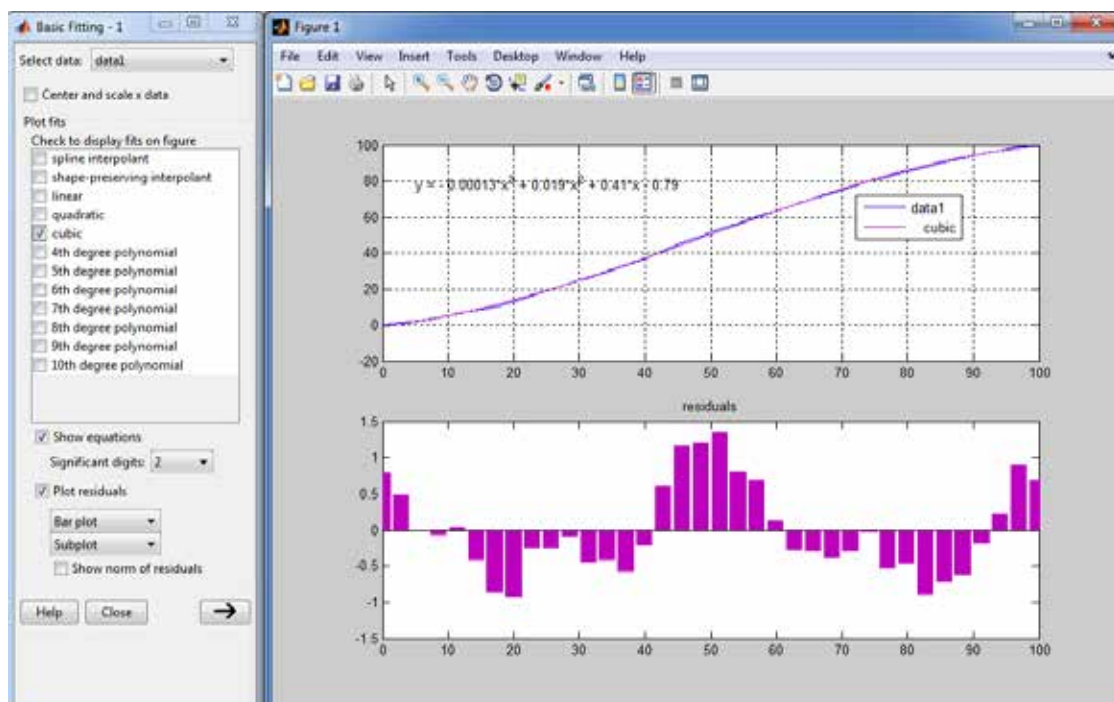


Рис. 4. Результат апроксимації експериментальної статичної характеристики пілотного електрогідророзподільювача ступеневим поліномом третього порядку

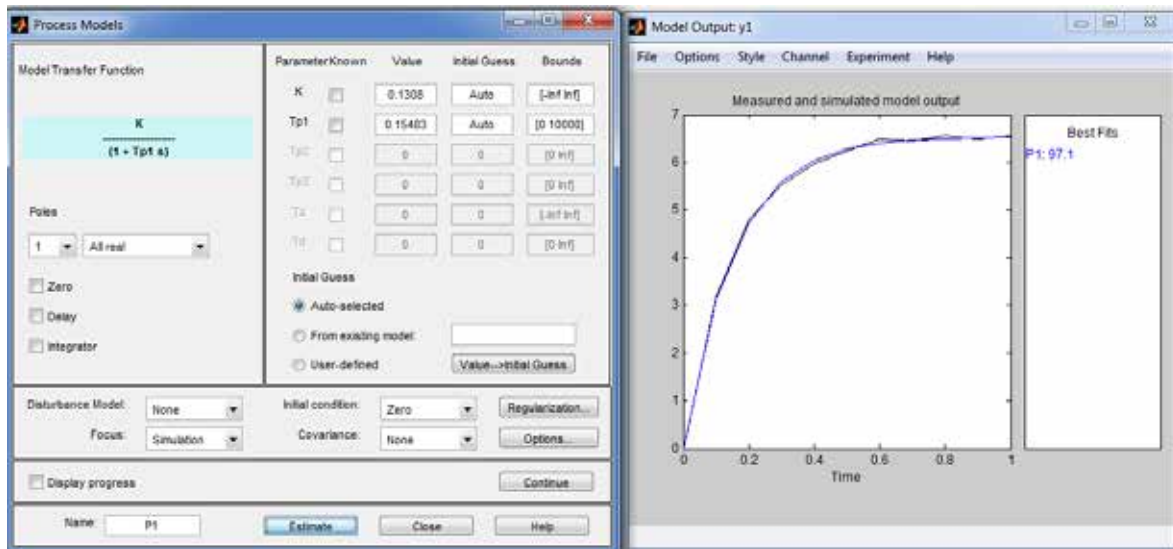


Рис. 5. Результат ідентифікації пілотного електрогідорозподілювача за динамічними властивостями

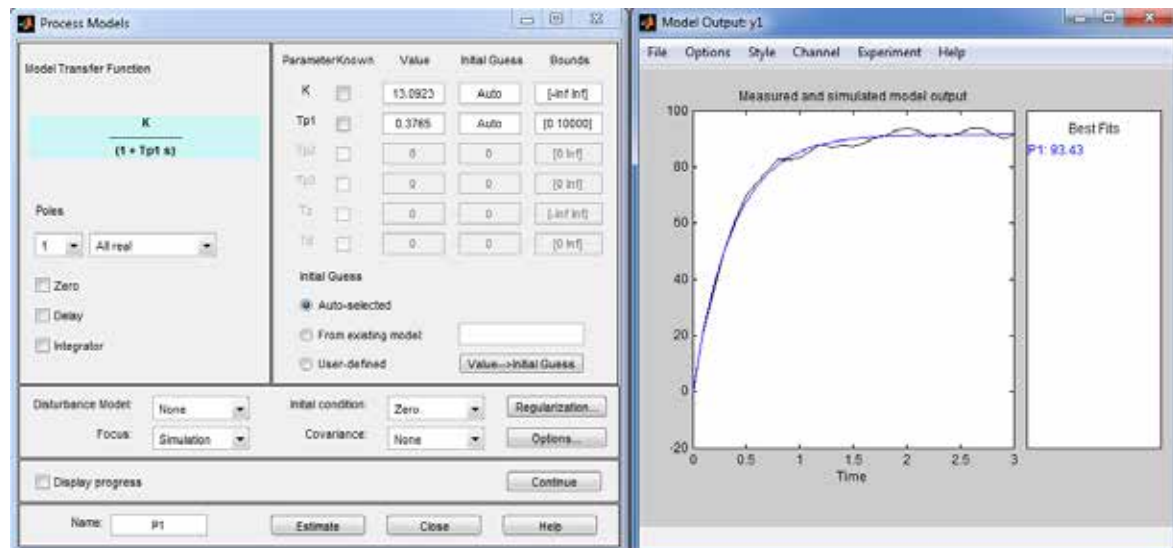


Рис. 6. Результат ідентифікації силового електрогідорозподілювача за динамічними властивостями

експериментальної кривої розгону за допомогою спеціального інструменту програми MATLAB System Identification Tool.

З рис. 7 можна зробити висновок, що динамічні властивості гідроциліндра підсистеми переміщення виконавчого органу видобувного комбайна описуються коливальною ланкою з постійною часу 0,41 с і коефіцієнтом демпфування 0,46. Коефіцієнт підсилення цього елемента системи за результатами ідентифікації становив 0,00234 м·хв/л·с.

На основі результатів ідентифікації елементів моделі об'єкта керування в застосунку Simulink програми MATLAB розроблена його імітаційна модель, що показана на рис. 8.

У моделі об'єкта керування рівняння, що апроксимує експериментальну статичну характеристику, задане за допомогою блока користувальницьких функцій (блок «Статична характеристика пілотного гідорозподілювача» на рис. 8). При цьому, оскільки за віссю абсцис експериментальної статичної характеристики переміщення якоря задається у відносних одиницях, у блоці «Нормування діапазону» на рис. 8 діапазон зміни 0–0,4 м/с перетворюється в діапазон зміни 0–100%.

Імітаційні динамічні моделі пілотного електрогідорозподілювача, силового розподілювача та гідроциліндра введені у блоки на рис. 8 з відповідними назвами.

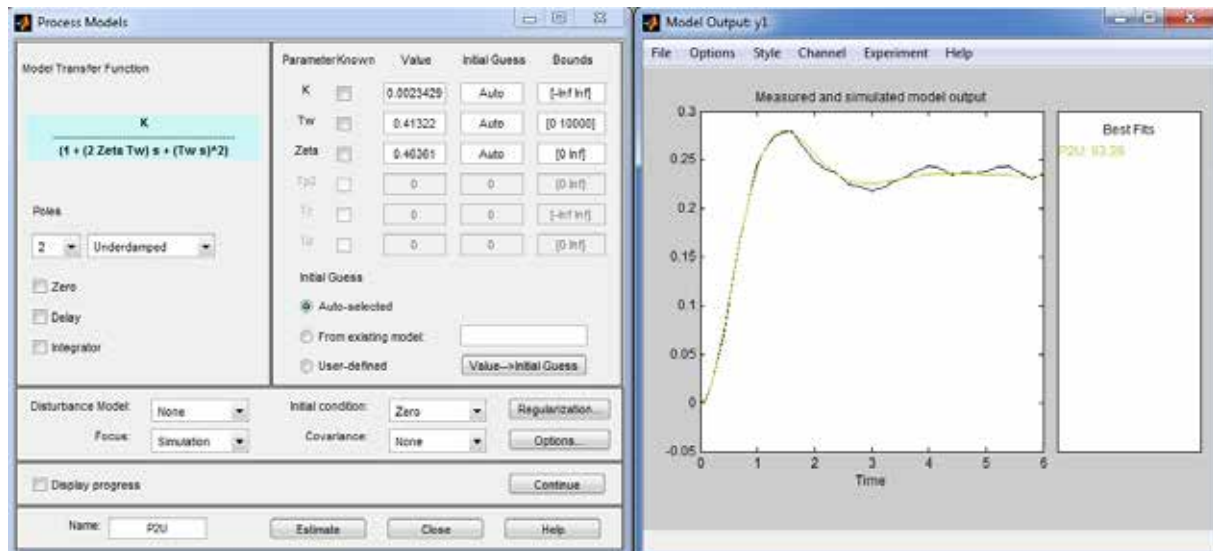


Рис. 7. Результат ідентифікації гідроциліндра підсистеми переміщення ВО комбайна за динамічними властивостями

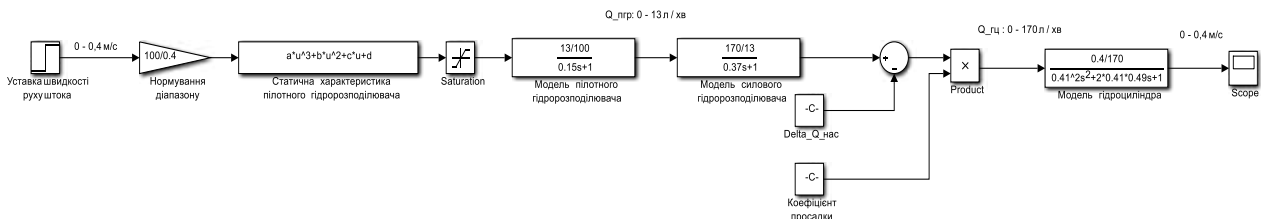


Рис. 8. Структурна схема імітаційної моделі об'єкта управління, що реалізована в застосунку Simulink програми Matlab

Перше збурення (зменшення витрат рідини на вході гідроциліндра через зменшення продуктивності насоса) задане блоком Delta_Q_нас і вводиться у модель через суматор. Друге збурення («просадка» гідроциліндра через опір переміщенню штока) задане блоком «Коефіцієнт просадки» на рис. 8 і вводиться у модель через операцію множення.

Результати. Аналіз структури створеної імітаційної моделі об'єкта керування показав, що можна виділити шість основних режимів переміщення виконавчого органу видобувного комбайна з позиції синтезу системи автоматичного управління:

- рух виконавчого органу без навантаження на шток гідроциліндра та з нормальним тиском у гідросистемі;
- рух виконавчого органу без навантаження на шток гідроциліндра зі зниженим тиском у гідросистемі на 20% (граничне значення);
- рух виконавчого органу з незначною «просадкою» гідроциліндра через навантаження на шток гідроциліндра (на 10%) і з нормальним тиском у гідросистемі;

– рух виконавчого органу з незначною «просадкою» гідроциліндра через навантаження на шток гідроциліндра (на 10%) і зі зниженим тиском у гідросистемі на 20%;

– рух виконавчого органу зі значною «просадкою» гідроциліндра через навантаження на шток гідроциліндра (на 20%) і з нормальним тиском у гідросистемі;

– рух виконавчого органу зі значною «просадкою» гідроциліндра через навантаження на шток гідроциліндра (на 20%) і зі зниженим тиском у гідросистемі на 20%.

Синтез системи автоматичного керування проводитимемо на основі комп'ютеризованих методів із використанням спеціалізованого інструмента PID Tune програми MATLAB. Цей інструмент дає змогу автоматизувати процедуру настройки ПІД-регулятора.

З метою синтезу системи автоматичного управління для кожного обґрунтованого вище режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна за допомогою застосунку PID Tune визначено залежність критеріїв якості роботи системи від параметрів регулятора.

За результатами аналізу табл. 1 і рис. 9 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна без опору руху штока гідроциліндра та з нормальним тиском у гідросистемі існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (3,8 с) без подальшого виходу швидкості з нього. Це настройка № 7 на рис. 9, за якої, як видно з рис. 9, б та табл. 1, перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної складової 0,472, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Далі аналогічні залежності були визначені для другого режиму переміщення органу комбайна. Результати наведені в табл. 2, а у графічному виді представлені на рис. 10.

За результатами аналізу рис. 10 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна без опору руху штока гідроциліндра та зі зменшеним на 20% тиском у гідросистемі теж існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (4,15 с) без подальшого виходу швидкості з нього.

З рис. 10, б та табл. 2 видно, що саме в разі настройки № 8 регулятора перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної складової 0,456, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Далі аналогічні залежності були визначені для третього режиму переміщення органу комбайна. Результати наведені

Таблиця 1

Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів настройок ПІ-регулятора для першого режиму переміщення ВО комбайна

Номер настройки регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,127	0	26	0	0
2	0,17	0	18,7	0	0
3	0,23	0	12,3	0	0
4	0,3	0	7,8	0	0
5	0,37	0	5	0	0
6	0,42	0	4,24	0	0
7	0,472	0	3,8	0,98	0
8	0,5	0	5,9	5,5	0
9	0,55	0	8	12	0
10	0,6	0	9,7	23,5	0

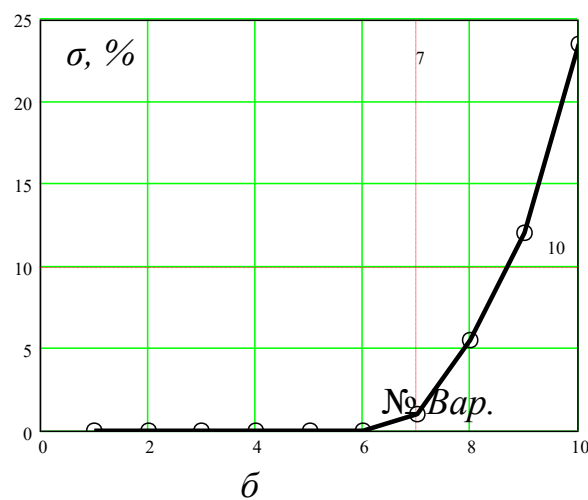
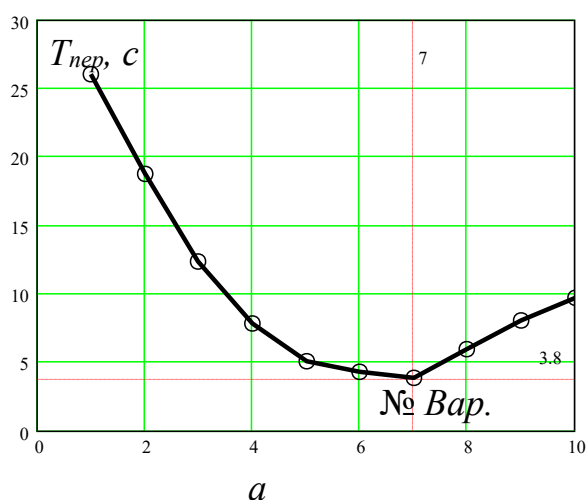


Рис. 9. Залежності від варіантів настройок ПІ-регулятора: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання для першого режиму переміщення ВО комбайна

Таблиця 2

**Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи
автоматичного управління від варіантів настройок ПІ-регулятора
для другого режиму переміщення ВО комбайна**

Номер настройки регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,15	0	27	0	0
2	0,19	0	20,6	0	0
3	0,23	0	16,4	0	0
4	0,28	0	12,7	0	0
5	0,34	0	9,7	0	0
6	0,39	0	7,6	0	0
7	0,42	0	6,95	0	0
8	0,456	0	4,15	1,0	0
9	0,53	0	5,35	9,5	0
10	0,6	0	7,1	18,1	0

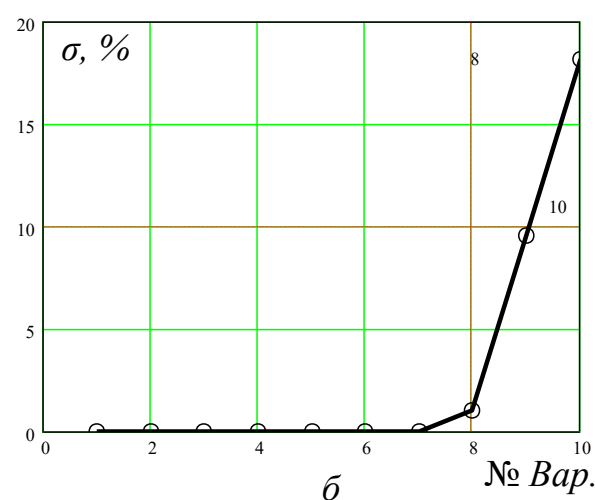
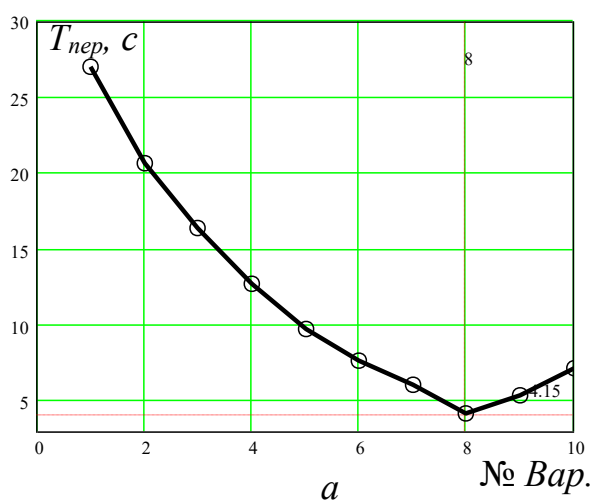


Рис. 10. Залежності від варіантів настройок ПІ-регулятора: а – часу переходного процесу; б – перерегулювання для другого режиму переміщення ВО комбайна

в табл. 3, а у графічному виді представлені на рис. 11.

За результатами аналізу рис. 11 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна з незначним опором руху штока гідроциліндра та нормальним тиском у гідросистемі також існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (3,96 с) без подальшого виходу швидкості з нього. Це настройка № 8 на рис. 11, за якої, як видно з рис. 11, б та табл. 3, перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної складової 0,5, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Далі аналогічні залежності були визначені для четвертого режиму переміщення органу

комбайна. Результати наведені в табл. 4, а у графічному виді представлені на рис. 12.

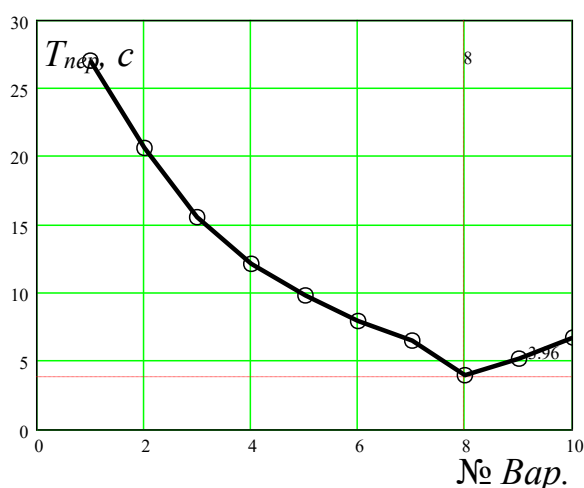
За результатами аналізу рис. 12 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна з незначним опором руху штока гідроциліндра та зменшеним на 20% тиском у гідросистемі також існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (4,07 с) без подальшого виходу швидкості з нього. Це настройка № 7 на рис. 12, за якої, як видно з рис. 12, б та табл. 4, перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної складової 0,505, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Далі аналогічні залежності були визначені для п'ятого режиму переміщення органу

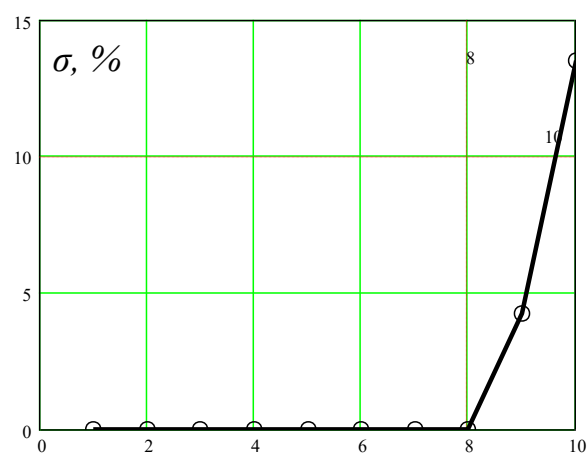
Таблиця 3

**Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи
автоматичного управління від варіантів налаштувань ПІ-регулятора
для третього режиму переміщення ВО комбайна**

Номер налаштування регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,15	0	27	0	0
2	0,19	0	20,6	0	0
3	0,24	0	15,5	0	0
4	0,29	0	12,1	0	0
5	0,34	0	9,73	0	0
6	0,39	0	7,84	0	0
7	0,43	0	6,6	0	0
8	0,5	0	3,96	0	0
9	0,55	0	5,1	4,2	0
10	0,65	0	6,7	13,5	0



а



б

№ Вар.

Рис. 11. Залежності від варіантів налаштувань ПІ-регулятора: а – часу переходного процесу; б – перерегулювання для третього режиму переміщення ВО комбайна

комбайна. Результати наведені в табл. 5, а у графічному виді представлені на рис. 13.

За результатами аналізу рис. 13 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна зі значним опором руху штока гідроциліндра та нормальним тиском у гідросистемі теж існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (3,94 с) без подальшого виходу швидкості з нього. Це настройка № 6 на рис. 13, за якої, як видно з рис. 13, б та табл. 5, перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної складової 0,55, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Далі аналогічні залежності були визначені для шостого режиму переміщення органу комбайна. Результати наведені в табл. 6, а у графічному виді представлені на рис. 14.

За результатами аналізу рис. 14 можна дійти висновку, що для режиму переміщення виконавчого органу видобувного комбайна зі значним опором руху штока гідроциліндра та зменшеним на 20% тиском у гідросистемі теж існує єдина настройка регулятора, за якої спостерігається мінімальний час входу швидкості в діапазон $\pm 1\%$ від уставки (3,94 с) без подальшого виходу швидкості з нього. Це настройка № 6 на рис. 14, за якої, як видно з рис. 14, б та табл. 6, перерегулювання є меншим за 1%. Цій настройці відповідає коефіцієнт інтегральної

Таблиця 4

Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів налаштувань ПІ-регулятора для четвертого режиму переміщення ВО комбайна

Номер налаштування регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,18	0	25,1	0	0
2	0,24	0	17,7	0	0
3	0,29	0	14	0	0
4	0,34	0	11,25	0	0
5	0,41	0	8,4	0	0
6	0,47	0	6,8	0	0
7	0,505	0	4,07	0,99	0
8	0,56	0	5,34	6,5	0
9	0,61	0	6,6	11,5	0
10	0,65	0	6,94	15,5	0

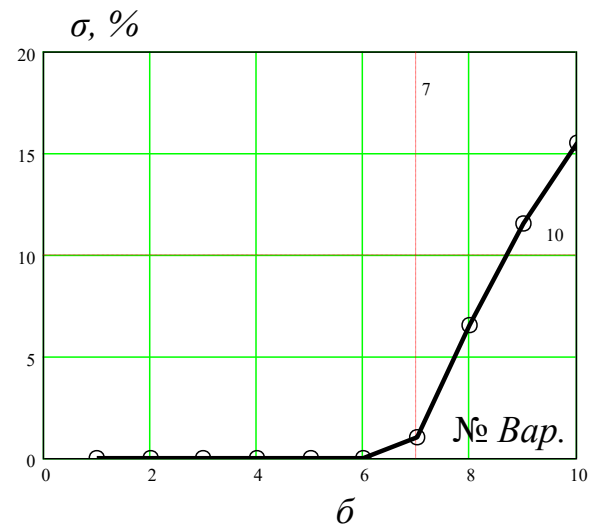
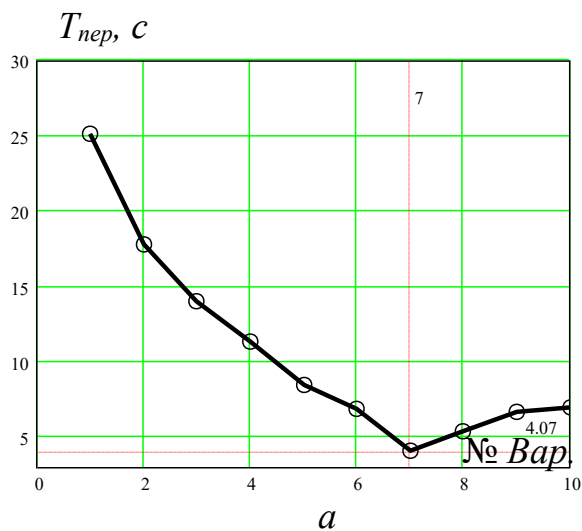


Рис. 12. Залежності від варіантів налаштувань ПІ-регулятора: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання для четвертого режиму переміщення ВО комбайна

Таблиця 5

Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів налаштувань ПІ-регулятора для п'ятого режиму переміщення ВО комбайна

Номер налаштування регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,25	0	17	0	0
2	0,32	0	12,3	0	0
3	0,38	0	9,65	0	0
4	0,44	0	7,6	0	0
5	0,5	0	6,0	0	0
6	0,55	0	3,94	0,15	0
7	0,6	0	4,9	3,8	0
8	0,65	0	6,22	8,0	0
9	0,7	0	6,7	12,0	0
10	0,75	0	6,75	16,3	0

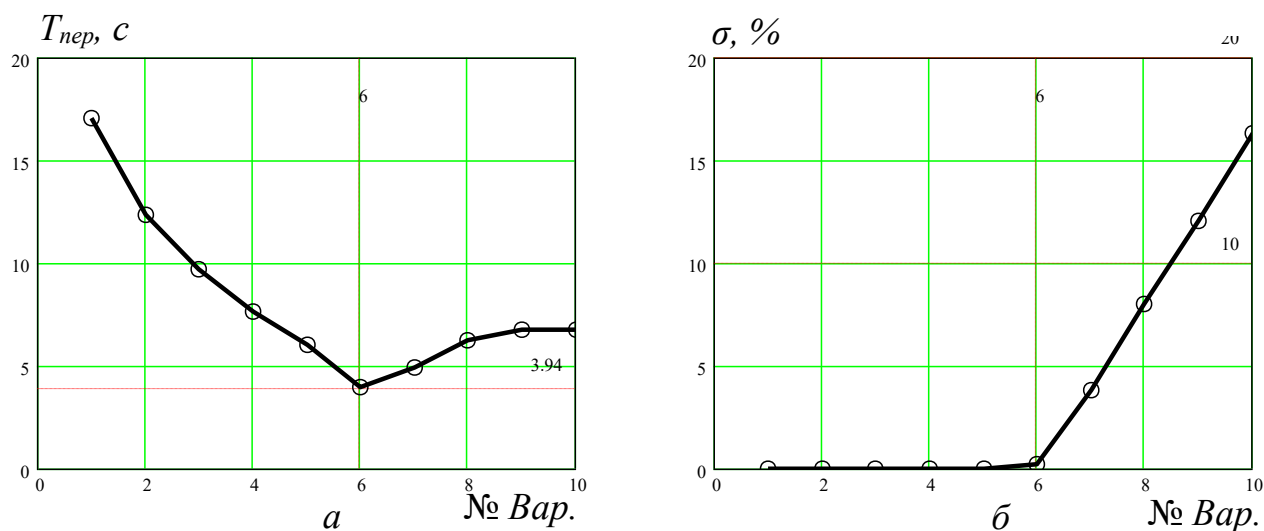


Рис. 13. Залежності від варіантів настройок ПІ-регулятора: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання для п'ятого режиму переміщення ВО комбайна

Таблиця 6

Результати досліджень залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного управління від варіантів настройок ПІ-регулятора для шостого режиму переміщення ВО комбайна

Номер настройки регулятора	Коефіцієнт підсилення інтегруючої складової	Коефіцієнт підсилення пропорційної складової	Час перехідного процесу, с	Перерегулювання, %	Відносна усталена похибка, %
1	0,25	0	20,05	0	0
2	0,32	0	14,8	0	0
3	0,38	0	11,75	0	0
4	0,44	0	9,46	0	0
5	0,5	0	7,53	0	0
6	0,576	0	3,94	0,99	0
7	0,61	0	5,1	3,8	0
8	0,65	0	5,32	7,5	0
9	0,7	0	5,4	11,0	0
10	0,75	0	5,43	15,2	0

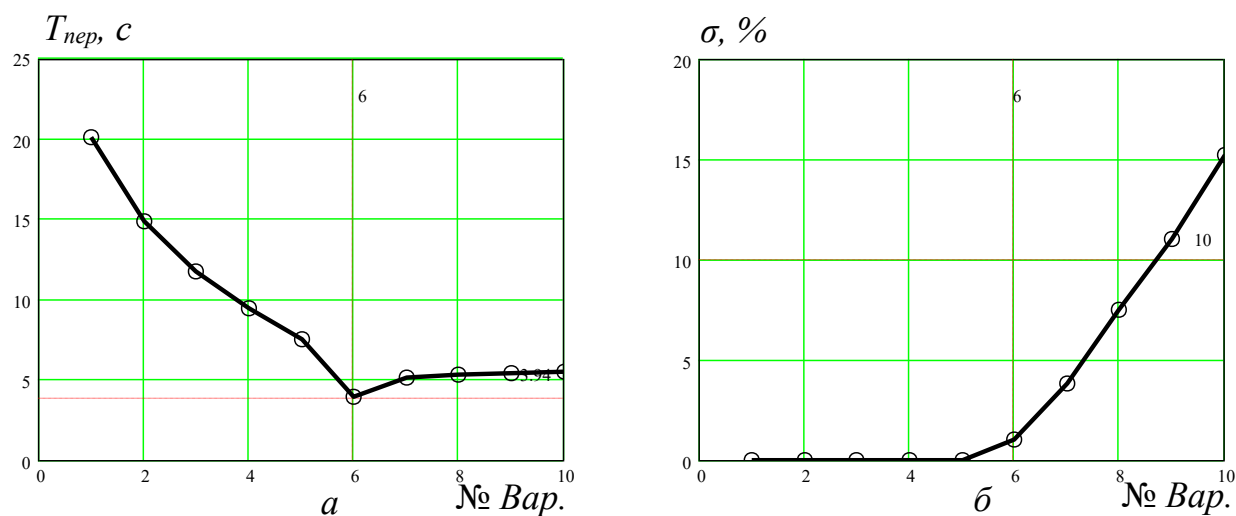


Рис. 14. Залежності від варіантів настройок ПІ-регулятора: а – часу перехідного процесу; б – перерегулювання для шостого режиму переміщення ВО комбайна

складової 0,576, а інші параметри регулятора при цьому мають дорівнювати нулю.

Висновки. Дослідження залежності часу входу швидкості переміщення виконавчого органу видобувного комбайна в діапазон $\pm 1\%$ від уставки за умови відсутності подальшого виходу з нього від різних варіантів настройки регулятора показали, що для всіх режимів переміщення органу незалежно від коливань тиску в гідросистемі комбайна й опору руху штока гідроциліндра ця залежність є параболічною з мінімальним екстремумом, що відповідає оптимальній настройці регулятора.

Було виявлено, що для всіх режимів переміщення органу комбайна оптимальним є І-регулятор з коефіцієнтом підсилення, що практично не змінюється зі зміною тиску в гідросистемі та незначно збільшується зі збільшенням опору руху штока гідроциліндра.

Також встановлено, що навіть незначне відхилення коефіцієнта підсилення інтегральної складової регулятора від свого оптимального значення призводить до суттєвого погіршення критеріїв якості роботи системи автоматичного управління на 20% та більше.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бобро Д. Вугільна промисловість України в умовах гібридної війни. *Аналітична записка: електронні ресурси Національного інституту стратегічних досліджень*. 2017. 24.
2. Немчинов М. Що чекає на українські шахти: електронні ресурси інформаційного агентства «Радіо свобода». *Міністерство енергетики та вугільної промисловості України*. 2018.
3. Стан розвитку паливно-енергетичного комплексу України за 11 місяців 2017 року (за фактичними даними). *Міністерство енергетики та вугільної промисловості України*.
4. Бубліков А., Козарь М., Проценко М. та ін. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт. *Національний гірничий університет*. 2012. 304 с.
5. Чекулаєв Є. Виконавчі механізми та регулюючі органи. *ДГМА*. 2005. 168 с.
6. Бубліков А., Шевченко В., Надточий В., Яцюк Д. & Прядко Н. Модифікований алгоритм автоматичного керування видобувним комбайном за навантаженням двигуна приводу різання. *Збірник наукових праць НГУ*. 2022. 69. С. 179–192.

REFERENCES:

1. Bobro, D. (2017). Vuhilna promyslovist Ukrainy v umovakh hibrydnoi viiny [The coal industry of Ukraine in the conditions of a hybrid war]. *Analitichna zapyska: elektronni resursy Natsionalnoho instytutu stratehichnykh doslidzhen*. 24 [in Ukrainian].
2. Nemchynov, M. (2018). Shcho chekaie na ukrainski shakhty: elektronni resursy informatsiinoho ahentstva "Radio Svoboda" [What awaits Ukrainian mines: electronic resources of the information agency "Radio Freedom"]. *Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy* [in Ukrainian].
3. Stan rozvytku palyvno-enerhetychnoho kompleksu Ukrainy za 11 misiatsiv 2017 roku (za faktychnymy danymy) [State of development of the fuel and energy complex of Ukraine for 11 months of 2017 (according to actual data)]. *Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy* [in Ukrainian].
4. Bublikov, A., Kozar, M., Protsenko, M. ta in. (2012). Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv pidzemnykh hirnychykh robot [Automation of technological processes of underground mining works]. *Natsionalnyi hirnychiy universytet*. 304 p. [in Ukrainian].
5. Chekulaiev, Ye. (2005). Vykonavchi mekhanizmy ta rehuliuiuchi orhany [Executive mechanisms and regulatory bodies]. *DHMA*. 168 p. [in Ukrainian].
6. Bublikov, A., Shevchenko, V., Nadtochy, V., Yatsiuk, D., & Priadko, N. (2022). Modyfikovanyi alhorytm avtomatychnoho keruvannia vydobuvnym kombainom za navantazhenniam dyvuhuna pryvodu rizannia [Modified algorithm of automatic control of the mining harvester according to the load of the engine of the cutting drive]. *Zbirnyk naukovykh prats NHU*. 69, pp. 179–192 [in Ukrainian].

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 622.412.13

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-7>

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИБУХОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ШАХТ

Голінько Василь Іванович,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри охорони праці та цивільної безпеки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0001-6069-0515

Голінько Олександр Васильович,

аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0003-1980-3017

Муха Олег Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-1311-8708

Метою цієї публікації є проведення досліджень щодо виявлення випадків несанкціонованого втручання в роботу засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт. Для досягнення поставленої мети проведено дослідження особливостей роботи стаціонарних аналізаторів метану за несанкціонованого обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика. Отримані експериментальні дані та їх статистичний аналіз апробованими методами дали змогу обґрунтувати алгоритм обробки сигналу про вміст метану й автоматично, дистанційно виявляти факт несанкціонованого втручання в роботу апаратури газового захисту, чим підвищити надійність контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

Ключові слова: рудникова атмосфера, датчик, метан, газовий захист.

Holinko Vasyi, Holinko Oleksandr, Mukha Oleh. Improving the reliability of explosion protection of mine workings

The purpose of this publication is to conduct research on the detection of cases of unauthorized interference in the operation of the explosion protection equipment of the mine workings. In order to achieve the goal, a study of the peculiarities of the operation of stationary methanometers in the event of unauthorized restriction of access of the controlled atmosphere to the sensor. The obtained experimental data and their statistical analysis using proven methods made it possible to justify the methane content signal processing algorithm and to automatically and remotely detect the fact of unauthorized interference in the operation of gas protection equipment, thereby increasing the reliability of monitoring the explosiveness of mine workings.

Key words: mine atmosphere, sensor, methane, gas protection.

Вступ. Гірничо-геологічні умови вугільних родовищ України характеризуються великою складністю, видобуток вугілля на деяких вугільних родовищах здійснюється на глибині понад тисячу метрів. Це зумовлює наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що призводять до високого рівня травматизму, профзахворювань та аварійності. Серед підземних аварій особливу небезпеку становлять вибухи метаноповітряних сумішей. За частотою прояву ці аварії становлять у середньому 4%, а збитки від них перевищують

10%. Тому проблема підвищення надійності вибухозахисту гірничих виробок шахт, особливо за аерогазовим фактором, є однією з найбільш актуальних для вугледобувної галузі [1].

Постановка задачі. Наявні методи контролю вмісту метану в рудниковій атмосфері [2] засновані на відмінності фізико-хімічних властивостей метану та неконтрольованих компонентів рудникової атмосфери (табл. 1).

Найбільшого поширення у вугільній промисловості набули оптичні, термокаталітичні та термомоніторингові методи контролю вмісту

Таблиця 1

**Фізико-хімічні властивості метану та неконтрольованих компонентів
рудникової атмосфери**

Назва величини	Одиниці вимірювання	Значення величин для газів					
		Повітря	CH ₄	C ₂ H ₆	H ₂	CO	CO ₂
Густина	кг/м ³	1,293	0,717	1,357	0,0899	1,25	1,977
Питома теплота згорання	Дж/Кмоль	-	8924	15624	2874	2834	-
Коефіцієнт дифузії	м ² /с	-	19,64	11,64	664	19,24	13,94
Коефіцієнт заломлення		1,000292	1,000441	1,000696	1,000138	1,000334	1,000450
Теплопровідність	Вт/(м К)	2,44	3,14	1,84	17,94	2,354	1,44
Теплоємність	КДж/(Кмоль К)	29,15	39,82	51,9	28,76	28,47	45,2
Температура самозагорання	°С	-	645	472	510	610	-
Нижча межа вибуховості	об. %	-	5	3,2	4	12,5	-
Верхня межа вибуховості	об. %	-	15	12,5	75,2	74,2	-
Довжини хвиль максимального поглинання	мкм	-	3,31; 7,7	-	25	2,37; 4,65	2,7; 4,2; 15

метану [2]. Історично одним із перших методів контролю вмісту метану в рудничній атмосфері, який знайшов широке застосування, став рефрактометричний метод [2]. Він заснований на відмінності коефіцієнтів заломлення світла метаном і повітрям. Цей метод вимірювання широко використовується в шахтних інтерферометрах і значно рідше – у стаціонарних рефрактометричних газоаналізаторах [3]. Одним із недоліків рефрактометричного методу є вплив на зміщення інтерференційної картини таких змінних компонентів рудничної атмосфери, як діоксид вуглецю та пари води. У шахтних інтерферометрах цей вплив усувається шляхом попереднього осушення аналізованого повітря та поглинання CO₂ хімічним вапняним поглиначом. До переваг методу належить мала інерційність. Однак реалізувати цю перевагу методу в стаціонарних газоаналізаторах надзвичайно складно через необхідність захисту оптичних елементів від пилу й вологи.

Іншим різновидом оптичного методу, на основі якого в минулому неодноразово робилися спроби створення засобів контролю метану для швидкодіючого газового захисту (що володіють малою інерційністю), є оптичний абсорбційний метод. Метод заснований на вибіркового поглинанні променистої енергії газами в інфрачервоній частині спектра. Для метану характерними довжинами хвиль максимального поглинання є випромінювання з довжиною хвиль 3,31 та 7,7 мкм. Роботи у сфері створення засобів контролю метану,

заснованих на абсорбційному методі, здійснювалися у двох напрямках [2, 4].

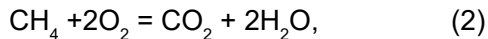
Перший напрям полягає у створенні бездисперсійних аналізаторів із вибіркового оптико-акустичним приймачем [5], а другий – у розробці і використанні вузькосмугових або монохроматичних джерел випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає максимуму поглинання метану, і в застосуванні широкосмугових оптичних приймачів [4]. Перевагою абсорбційного методу є його вибірковість, мала інерційність і можливість вимірювання концентрації метану безпосередньо в потоці рудникового повітря. Однак необхідність застосування складних оптико-акустичних приймачів, труднощі захисту оптичних елементів від пилу та вологи, а також відносно висока енергоємність практично унеможливають застосування абсорбційного методу в широких масштабах. Застосування оптичних датчиків доцільне у швидкодіючих аналізаторах метану як додаткових для виявлення раптових викидів метану [6].

Контроль високих концентрацій метану найчастіше здійснюється термокондуктометричним методом. Цей метод заснований на відмінності теплопровідності метану й інших компонентів рудничної атмосфери. Вважають, що теплопровідність суміші газів має адитивні властивості й однозначно залежить від концентрації газів в атмосфері. У такому разі теплопровідність бінарної метаноповітряної суміші можна визначити з виразу [2]

$$\lambda_{CM} = C_M \lambda_M + (1 - C_M) \lambda_B, \quad (1)$$

де λ_{cm} , λ_m , λ_g – коефіцієнти теплопровідності відповідно газової суміші, метану та повітря, Вт/м·К; C_m – молярна частка метану в суміші.

Найбільш вивченим методом контролю вмісту метану в рудниковій атмосфері, який знайшов найширше застосування у створенні стаціонарних засобів автоматичного газового контролю (АГК) та переносних сигналізаторів метану є термокаталітичний. Він полягає в безполум'яному окисненні метану на поверхні каталізатора, яке відбувається за відомою реакцією [2]



і контролі зміни опору чутливого елемента пропорційного кількості тепла, що виділився при цьому, яка пропорційна (до деяких меж) концентрації метану. Системи АГК, побудовані за таким принципом, у 70–80-ті роки минулого століття дали змогу знизити рівень смертельного травматизму гірників більш ніж удвічі.

Відмінною особливістю термокаталітичного методу є те, що в процесі роботи датчика відбувається спалювання метану і за відсутності припливу аналізованої суміші до датчика його показання в міру згоряння метану знижуються. З порушенням правила безпеки ця особливість роботи метанометрів використовується персоналом шахт для відключення засобів вибухозахисту шляхом обмеження доступу контрольованого середовища до датчика. Такі дії, об'єднані терміном «несанкціонований доступ» до датчиків систем АГК, ведуть до зниження надійності вибухозахисту гірничих виробок шахт, істотно підвищують імовірність аварій із катастрофічними наслідками.

Метою цієї публікації є проведення досліджень щодо виявлення випадків несанкціонованого втручання в роботу засобів вибухозахисту гірничих виробок шахт.

Результати роботи. Для досягнення поставленої мети проведено дослідження особливостей роботи стаціонарних метанометрів за несанкціонованого обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика через його часткову ізоляцію від середовища чутливого елемента шляхом обгортання його поліетиленовим пакетом, мокрою тканиною, заливкою фільтр-елемента датчика водою та ін. Особливості роботи в штатному режимі і за обмеження доступу метану до виносного датчика шляхом його обгортання поліетиленовим пакетом зображено на графіках на рис. 1.

Як видно з графіків 1 і 2, після обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика метану за 12–18 хв у 3–5 разів знижується рівень вихідного сигналу датчика, змінюється характер мікро- і макрофлуктуацій сигналу та зміщення частотної характеристики вихідного сигналу в область нижчих частот.

Тому за зміною величини вихідного сигналу й середньоквадратичного відхилення результатів вимірювань від середнього за попередній і поточний проміжок часу можна виявити факт несанкціонованого обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика. Цей факт може бути визначено також щодо зміни частоти, яка відповідає максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу аналізатора, для чого можна скористатися апробованими методами статистичного аналізу [7, 8].

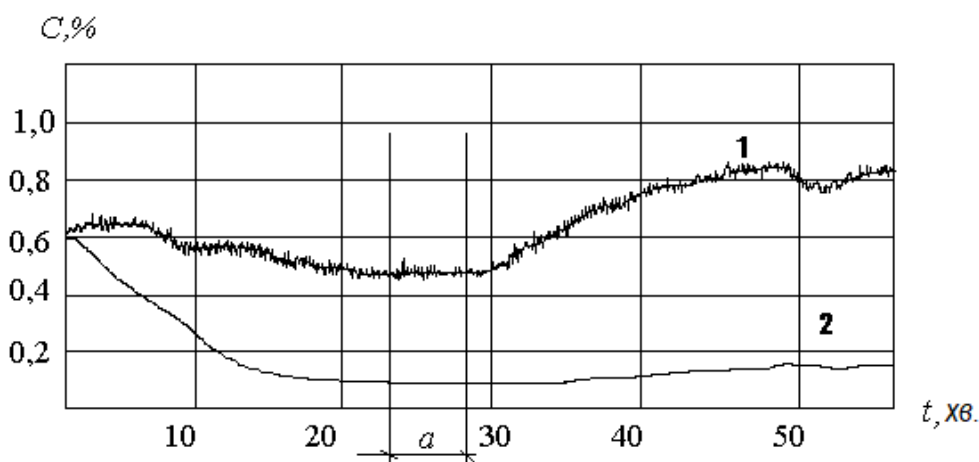


Рис. 1. Фрагменти графіків вихідного сигналу газоналізаторів:

1 – вихідний сигнал контрольного газоналізатора; 2 – вихідний сигнал газоналізатора після обмеження подачі контрольованої атмосфери шляхом обгортання датчика

Відповідно до першого методу автоматичного виявлення примусового обмеження доступу контрольованого середовища до датчика здійснюють у такій послідовності:

1. Визначають середні значення концентрації метану за поточний m -ий, наприклад п'ятихвилинний інтервал:

$$\bar{C}_m = \frac{C_{1m} + C_{2m} + \dots + C_{nm}}{n} = \frac{\sum_{n=1}^n C_{nm}}{n}, \quad (4)$$

де $C_{1m}, C_{2m}, \dots, C_{nm}$ – поточні значення вмісту метану в m -му, наприклад, п'ятихвилинному інтервалі; n – число дискретних значень вмісту метану в m -му п'ятихвилинному інтервалі, розбитому, наприклад, на $n = 10$ підінтервалів;

2. Визначають середні значення вмісту метану, наприклад у кожному з п'яти п'ятихвилинних інтервалів, що передують m -му інтервалу C_{m-i}

$$\bar{C}_{m-i} = \frac{C_{1(m-i)} + C_{2(m-i)} + \dots + C_{n(m-i)}}{n} = \frac{\sum_{n=1}^n C_{n(m-i)}}{n}, \quad (5)$$

де $i = 1, 2, \dots, 5$ – номер, наприклад, п'ятихвилинного інтервалу вимірювання концентрації метану, що передує m -му інтервалу; $C_{1(m-i)}, C_{2(m-i)}, C_{n(m-i)}$ поточні значення вмісту метану в $(m-i)$ -му інтервалі, передуючому m -му інтервалу;

3. Визначають середнє значення вмісту метану за п'ятихвилинних інтервалів вимірювання, що передують m -му;

$$\bar{C}_5 = \frac{\bar{C}_{m-1} + \bar{C}_{m-2} + \dots + \bar{C}_{m-5}}{5}. \quad (6)$$

4. Визначають середньоквадратичне відхилення поточних значень від середнього вмісту метану в m -му інтервалі вимірювання;

$$Z_1 = \sqrt{\frac{(\bar{C}_m - C_{1(m-i)})^2 + (\bar{C}_m - C_{2(m-i)})^2 + \dots + (\bar{C}_m - C_{n(m-i)})^2}{n}}. \quad (7)$$

5. Визначають середньоквадратичне відхилення Z_2 від середнього значення $\bar{C}_5$ вмісту метану в попередніх m -му інтервалу вимірів:

$$Z_2 = \sqrt{\frac{(\bar{C}_5 - \bar{C}_{m-1})^2 + (\bar{C}_5 - \bar{C}_{m-2})^2 + \dots + (\bar{C}_5 - \bar{C}_{m-5})^2}{5}}. \quad (8)$$

Визначають відносини: $\frac{\bar{C}_5}{\bar{C}_m}$; $\frac{Z_2}{Z_1}$, якщо $\frac{Z_2}{Z_1} \geq 2$ і $\frac{\bar{C}_5}{\bar{C}_m} \geq 3$, роблять висновок про наявність несанкціонованого обмеження доступу

контрольованого середовища до датчика.

Такий же висновок робиться, якщо $\frac{Z_2}{Z_1} \geq 4$.

За другим способом наявність несанкціонованого обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика визначають у такій послідовності.

1. Функцію зміни вихідного електричного сигналу, пропорційного концентрації метану представляють у вигляді ряду гармонійних функцій із кратними частотами основної частоти.

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos k\omega t. \quad (9)$$

де C_k – амплітуда гармонійної функції; k – номер гармоніки; t – час;

2. Визначають середні значення частот, відповідні максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу аналізатора в кожному з п'ятихвилинних інтервалів вимірювання метану, що передує m -му:

$$\bar{f}_{m-i} = \frac{f_{1(m-i)} + f_{2(m-i)} + \dots + f_{n(m-i)}}{n} = \frac{\sum_{n=1}^n f_{n(m-i)}}{n}, \quad (10)$$

де $f_{1(m-i)}, f_{2(m-i)}, f_{n(m-i)}$ – частоти, які відповідають максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу в i -му п'ятихвилинному інтервалі вимірювання, розбитому, наприклад, на $n = 10$ підінтервалів і попередньому m -му.

3. Визначають середнє значення частоти, відповідне максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу аналізатора за п'ять хвилинних інтервалів вимірювання, що передують m -му:

$$\bar{f}_5 = \frac{\bar{f}_{m-1} + \bar{f}_{m-2} + \dots + \bar{f}_{m-5}}{5}. \quad (11)$$

4. Визначають середнє значення частоти, що відповідає максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу аналізатора за поточний m -й інтервал вимірювань:

де f_{1m}, f_{2m}, f_{nm} – частоти, які відповідають максимуму спектральної характеристики вихідного сигналу в m -му п'ятихвилинному інтервалі вимірювання, розбитому, наприклад, на $n = 10$ підінтервалів.

5. Визначаємо відносини $\frac{\bar{f}_m}{\bar{f}_5}$, і якщо $\frac{\bar{f}_m}{\bar{f}_5} \geq 5$, робиться висновок про несанкціоноване обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчиків.

У разі zalивання датчика водою аналізатор найчастіше на тривалий час повністю втрачає чутливість. Однак за обмеженого короткочасного впливу води фільтроелемент

не повністю просочується водою. Характер кривих вихідного сигналу для такого випадку наведено на рис. 2. Як бачимо, у початковий момент з постійної часу (менше за 1 хвилину) показання аналізатора 2 знизилися більш ніж у 6 разів. Надалі вихідний сигнал аналізатора 2 без суттєвої затримки в часі практично повторює вихідний сигнал контрольного аналізатора 1. Характерним для останнього випадку є також те, що відносна величина флуктуацій сигналу 2 в часі є практично аналогічною флуктуаціям контрольного сигналу 1, що, на відміну від першого випадку, пояснюється відсутністю проміжної газової ємності. Відносна величина мікрофлуктуацій вихідного сигналу випробуваного аналізатора в цьому випадку також дещо зменшується, проте не настільки суттєво, як у попередньому.

Для виявлення випадку заливки фільтрелемента термокаталітичного датчика водою можуть бути використані такі ознаки:

- характерне різке зниження показань аналізатора за час менше ніж 1 хвилина, а потім встановлення значно меншого рівня вихідного сигналу;

- зниження відносної величини мікрофлуктуацій вихідного сигналу газоаналізатора.

Оскільки різке зниження показань аналізатора з постійною часу менше ніж 1 хвилина може виникнути і за нормальної роботи газоаналізатора, а зниження відносної величини мікрофлуктуацій вихідного сигналу газоаналізатора не настільки суттєве, як у попередньому випадку втручання, для підвищення достовірності виявлення заливки фільтрелемента термокаталітичного датчика водою потрібний

пошук додаткових ознак, що дадуть змогу виявити випадки втручання.

Можливим шляхом виявлення випадків заливання фільтрелемента водою є аналіз перехідних процесів, що виникають у датчиках зі зміною режиму живлення термоелементів [9]. Процес контролю стану газодифузійного фільтра аналізатора в цьому випадку може бути суміщений із процесом діагностики нульових показань [10], за якого величина струму через термоелементи знижується на 20% відносно номінального, і на каталітично активному робочому елементі протягом паузи, потрібної для завершення перехідних теплових процесів, припиняється окиснення метану.

Обговорення результатів дослідження.

Конструктивне виконання та технологія виготовлення чутливих елементів для термокаталітичних і термокондуктометричних датчиків, що випускаються багатьма підприємствами України, схожі і мають порівняно однакові переваги і недоліки. Чутливі елементи – найбільш уразливий елемент апаратури газового контролю [2]. Тому один із шляхів підвищення надійності АГК полягає в поліпшенні експлуатаційних характеристик датчиків. Досягнення цієї мети здійснювалося завдяки розробці методів коригування нульових показань і чутливості метанометра в атмосфері, що містить метан [2], запобіганню заливанню чутливих елементів датчика водою та підвищенню їх механічної стійкості [11], зниженню похибки вимірювань від впливу зміни умов експлуатації [10] та ін., що дало змогу істотно підвищити технічний рівень і надійність засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

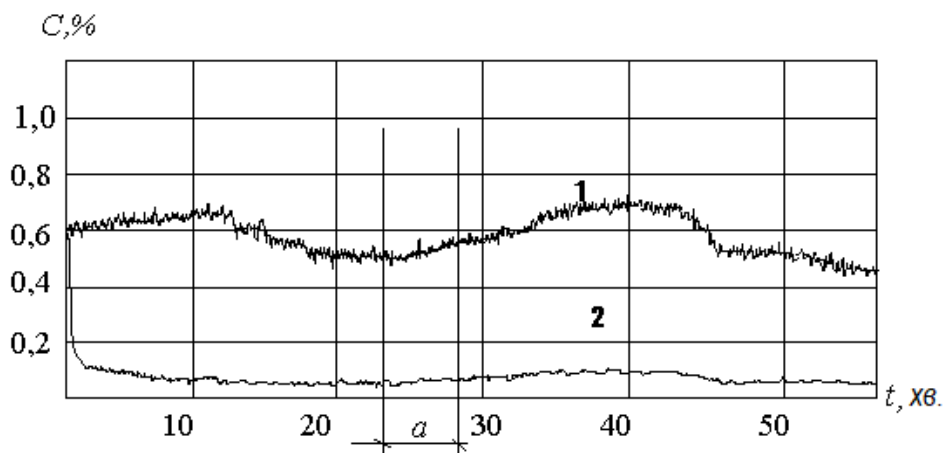


Рис. 2. Фрагменти графіків вихідного сигналу газоаналізаторів:

1 – вихідний сигнал контрольного газоаналізатора; 2 – вихідний сигнал газоаналізатора після заливання фільтрелемента водою

Висновки.

1. Проведено дослідження особливостей роботи стаціонарних аналізаторів метану за несанкціонованого обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчика шляхом обгортання виносного датчика газонепроникним матеріалом та заливання фільтрелемента датчика водою.

2. Обґрунтовано алгоритм обробки сигналу про вміст метану, що дає можливість автоматично, дистанційно виявляти факт несанкціонованого втручання в роботу апаратури газового захисту, чим підвищити надійність контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Безпека та гігієна праці у гірничодобувній галузі та вугільній промисловості в Україні / Міжнародна організація праці. Група технічної підтримки з питань гідної праці та Бюро МОП для країн Центральної та Східної Європи. Київ : МОП, 2018. 36 с.
2. Голинько В. І., Котляров А. К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт : монография / В. И. Голинько, А. К. Котляров. Днепропетровск : Лира, 2010. 368 с.
3. Tahani Aldhafeeri. A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives / Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk, Michael Pope, Michael Fowler / *Inventions* 2020, 5, 28.
4. Вовна О. В. Підвищення точності оптоелектронного вимірювача концентрації метану вугільних шахт / О. В. Вовна, А. А. Зорі, Р. М. Ахмедов. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. «Електроенергетика та перетворювальна техніка». Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 4 (1226). С. 19–24.
5. Triki M., Nguyen B.T., Vicet, A. Compact sensor for methane detection in the mid infrared region based on quartz enhanced photoacoustic spectroscopy. *Infrared Phys. Technol.* 2015, 69, 74–80.
6. Голинько В. І., Голинько О. В. Методи та алгоритми підвищення швидкодії систем автоматичного газового захисту. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Проблеми моделювання та автоматизації проектування»*. 2021. № 1 (17). С. 79–87.
7. Теорія статистика : навчальний посібник / М. К. Шапочка, О. М. Маценко. Суми : Університетська книга, 2014. 312 с.
8. Сеньо П. С. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник / С. П. Сеньо ; Мін-во освіти і науки України, ЛНУ. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 448 с.
9. Голинько В. І., Голинько О. В. Методи та алгоритми контролю стану газодифузійного фільтра аналізаторів метану. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. № 2–35, 2022, № 1–36, 2023. С. 22–29.
10. Алексеев М. О., Голинько О. В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термодифузійних газоаналізаторів. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро : ДВНЗ «НГУ», 2018. № 53. С. 223–229.
11. Пат. 76648 Україна, МПК E21F 17/18, G01F 15/00. Спосіб підвищення механічної стійкості термодифузійного датчика горючих газів / О. К. Котляров, В. І. Голинько, О. В. Білоножко, В. В. Білоножко. Опубл. 15.08.06. Бюл. № 8.

REFERENCES:

1. Bezpeka ta hihiena pratsi u hirnychodobuvnii haluzi ta vuhilnii promyslovosti v Ukraini [Occupational safety and hygiene in the mining and coal industry in Ukraine] / Mizhnarodna orhanizatsiia pratsi; Hrupa tekhnichnoi pidtrymky z pytan hidnoi pratsi ta Biuro MOP dlia krain Tsentralnoi ta Skhidnoi Yevropy. Kyiv: MOP, 2018. 36 p. [in Ukrainian].
2. Holynko, V.Y., Kotliarov, A.K. (2010). Kontrol vzryvoopasnosti sredy v hornykh vyrabotkakh y oborudovanyu uholnykh shakht : monohrafiya / V.Y. Holynko, A.K. Kotliarov. Dnepropetrovsk: Lyra. 368 p.
3. Tahani Aldhafeeri (2020). A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives / Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk, Michael Pope, Michael Fowler / *Inventions*, 5, 28.
4. Vovna, O.V. (2017). Pidvyshchennia tochnosti optoelektronnoho vymiriuvacha kontsentratsii metanu vuhilnykh shakht [Increasing the accuracy of the optoelectronic meter of methane concentration in coal mines] / O.V. Vovna, A.A. Zori, R.M. Akhmedov. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Zbirnyk naukovykh prats. "Elektroenerhetyka ta peretvoriuvalna tekhnika". Kharkiv: NTU "KhPI". № 4 (1226). P. 19–24 [in Ukrainian].
5. Triki, M., Nguyen, B.T., Vicet, A. (2015). Compact sensor for methane detection in the mid infrared region based on quartz enhanced photoacoustic spectroscopy. *Infrared Phys. Technol.*, 69, 74–80.

6. Holinko, V.I., Holinko, O.V. (2021). Metody ta alhorytmy pidvyshchennia shvydkodii system avtomatychnoho hazovoho zakhystu [Methods and algorithms for increasing the speed of automatic gas protection systems]. Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: "Problemy modeliuвання ta avtomatyzatsii proektuvannia". № 1 (17). P. 79–87 [in Ukrainian].
7. Teoriia statystyka [Theory of statistics]: navchalnyi posibnyk / M.K. Shapochka, O.M. Matsenko. Sumy: Universytetska knyha, 2014. 312 p. [in Ukrainian].
8. Seno, P.S. (2004). Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]: pidruchnyk / S.P. Seno; Min-vo osvity i nauky Ukrainy, LNU. Kyiv: Tsentri navchalnoi literatury, 2004. 448 p. [in Ukrainian].
9. Holinko, V.I., Holinko, O.V. (2023). Metody ta alhorytmy kontroliu stanu hazodyfuziinoho filtra analizatoriv metanu [Methods and algorithms for monitoring the state of the gas diffusion filter of methane analyzers]. Naukovi pratsi DonNTU. Serii: "Informatyka, kibernetyka ta obchysliuvanna tekhnika". № 2–35, № 1–36. P. 22–29 [in Ukrainian].
10. Alekseev, M.O., Holinko, O.V. (2018). Avtomatychna diahnostyka stanu statsionarnykh termokatalitychnykh hazoanalizatoriv [Automatic diagnostics of the state of stationary thermocatalytic gas analyzers]. Zbirnyk naukovykh prats NHU. Dnipro: DVNZ "NHU". № 53. P. 223–229 [in Ukrainian].
11. Pat. 76648 Ukraina, MPK E21F 17/18, G01F 15/00. Sposib pidvyshchennia mekhanichnoi stiikosti termokatalitychnoho datchyka horiuchykh haziv [A method of increasing the mechanical stability of a thermocatalytic sensor of combustible gases] / O.K. Kotliarov, V.I. Holinko, O.V. Bilonozhko, V.V. Bilonozhko. Opubl. 15.08.06. Biul. № 8 [in Ukrainian].

УДК 331.454

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-8>

ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ АУДИТУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Муха Олег Анатолійович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
науковий співробітник лабораторії інженерно-технічних досліджень
Дніпропетровського науково-дослідного інституту судових експертиз
ORCID ID: 0000-0002-1311-8708

Архирей Михайло Михайлович,

доктор філософії,
начальник служби охорони праці, навколишнього середовища,
протипожежної безпеки та безпеки руху управління транспорту
ПАТ «Укрнафта»
ORCID ID: 0000-0002-6803-0703

Чернов Вячеслав Миколайович,

аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0008-7197-2145

Тільний Сергій Васильович,

аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0002-9705-463X

Сосулєв Єгор Ігорович,

аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0009-0006-3633-7301

Розроблено алгоритм діагностики умов праці для підвищення результативності роботи фахівців з охорони праці на основі постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) за дотриманням законодавства у сферах охорони праці, промислової безпеки, гігієни праці, поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення, праці, зайнятості населення, зайнятості та працевлаштування осіб з інвалідністю, здійснення державного гірничого нагляду Державною службою з питань праці» від 20.05.2020 № 383. Запропоновано замкнутий цикл діагностики стану умов праці, який складається з п'яти кроків: формування довідника небезпек, проведення попередньої ідентифікації небезпек, проведення перевірки стану умов праці, остаточна оцінка ризиків кожної з виявлених небезпек, формування «Звіту про невідповідності», які виявлені під час перевірки. Визначені основні групи небезпек для формування довідника небезпек, які враховують економічну діяльність організації. Запропоновано для попередньої оцінки ризику, крім імовірності та тяжкості наслідків впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпечою чи небезпечною діяльністю, що визначена експертною групою, використовувати тривалість впливу події в часі, що дасть змогу відслідковувати можливі зміни в характеристиках небезпек. Заплановано для остаточної оцінки виявлених небезпек використовувати додатковий параметр – «коефіцієнт небезпечності», який являє собою величину параметра «ймовірність виникнення події», який змінюється залежно від фактичного стану умов праці на тому чи іншому робочому місці. Наукова новизна полягає в діагностиці стану умов праці на основі попередньої оцінки небезпек, де враховується тривалість дії небезпечного чинника на працівника, і остаточної оцінки небезпек з урахуванням коефіцієнта. Практична цінність полягає у використанні алгоритму діагностики стану умов праці на основі попередньої і остаточної оцінки небезпек, відмінності якого від відомих є застосування коефіцієнта небезпечності. Розроблені шкали для оцінки ймовірності небезпечної події, інтенсивності впливу небезпечного чинника та тривалості його впливу.

Ключові слова: ризик, діагностика, умови праці, небезпечна подія, небезпечний чинник.

Mukha Oleg, Arkhirei Mykhaylo, Chernov Vyacheslav, Tilnyi Serhiy, Sosulev Yehor. The issue of improving the audit on labor protection

An algorithm for diagnosing working conditions has been developed to improve the effectiveness of the work of labor protection specialists based on the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of criteria by which the degree of risk from economic activity is assessed and the periodicity of planned state supervision (control) measures for compliance with legislation in the sphere of protection is determined of work, industrial safety, work hygiene, handling of explosive materials for industrial purposes, work, population employment, employment and employment of persons with disabilities, implementation of state mining supervision by the State Labor Service" dated 05/20/2020 № 383. The proposed closed cycle of diagnosing the state of working conditions, which consists of five steps: creating a directory of hazards, conducting a preliminary identification of hazards, conducting an inspection of the state of working conditions, final assessment of the risks of each of the identified hazards, forming a "Report on non-conformities" that were discovered during checks. The main groups of hazards are defined for the formation of the directory of hazards, which take into account the economic activity of the organization. It is proposed for preliminary risk assessment, in addition to the probability and severity of the consequences of the impact of an event related to a specific identified hazard or dangerous activity, determined by the expert group, to use the duration of the impact of the event over time, which will allow monitoring possible changes in the characteristics of hazards. It is planned to use an additional parameter for the final assessment of the detected hazards – the "danger coefficient", which is the value of the parameter "probability of occurrence of an event", which changes based on the actual state of working conditions at this or that workplace. The scientific novelty consists in the diagnosis of the state of working conditions based on a preliminary assessment of hazards, which takes into account the duration of the effect of the dangerous factor on the employee, and the final assessment of hazards taking into account the coefficient. The practical value lies in the use of an algorithm for diagnosing the state of working conditions on the basis of a preliminary and final assessment of hazards, the difference from which is the use of a hazard ratio. Scales have been developed to assess the probability of a dangerous event, the intensity of the impact of a dangerous factor, and the duration of its impact.

Key words: risk, diagnosis, working conditions, dangerous event, dangerous factor.

Актуальність проблеми. Головною передумовою відсутності травматизму на виробництві є системна робота служби охорони праці [1]. Гадаємо, кожен із спеціалістів з охорони праці погодиться з тим, що наразі склалися такі обставини, коли обов'язкові до впровадження нормативно-правові акти, корпоративні та відомчі стандарти, накази, звіти з питань охорони праці тільки накопичуються, а додаткові, нетипові для служби охорони праці функції систематично нав'язуються їй до виконання. У цих умовах більшість робочого часу інженера з охорони праці заповнюється суто їх опрацюванням, тобто так званою паперовою роботою [2, 3]. Тому для забезпечення належного виконання своїх першочергових функцій, а це безпосередня присутність на виробництві, потрібно раціонально організовувати робочий процес фахівців з безпеки праці. Під раціональною організацією робочого процесу в цьому випадку розуміємо своєчасне і правильне визначення пріоритетів, чітке формування цілі, раціональний розподіл обов'язків і робочого часу працівників, а також відсутність дублювання їх функцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою моніторингу умов праці, раціональним розподілом часу інженерів з охорони праці, забезпеченням результативної системи управління охороною праці переймалося чимало фахівців. Розглянемо висновки й рекомендації декількох найбільш цікавих. Так, автори [4]

у статті розкрили сутність поняття «діагностика політики керівництва у сферах якості, соціальної відповідальності, інформаційної безпеки й охорони праці на підприємстві». При цьому для підвищення результативності системи управління та зменшення часу на обробку вхідної інформації вони рекомендували встановити ключові бізнес-індикатори: інтегральний індикатор інформаційної безпеки на підприємстві й інтегральний індикатор охорони праці на підприємстві, які перебувають під впливом факторів внутрішнього та зовнішнього середовища. Водночас у дослідженні наведено потужний математичний апарат, який навряд чи доступний звичайному працівнику з охорони праці для формування відповідного бізнес-індикатора. В іншій публікації [5] авторка виявила диспропорції, що відображають втрату керованості в управлінні ефективністю та безпекою праці й запропонувала методичну основу для вдосконалення управління продуктивною працею з позицій стимулювання інноваційної активності підприємств. Разом із тим у дослідженні не враховується низка проактивних показників результативності систем управління, що є основою ризик-орієнтованого підходу. В інших статтях [6, 7] автори розглянули теоретичні аспекти нормування праці, конкурентоспроможності управлінського персоналу й основні напрями проведення діагностики безпеки праці. Однак у роботах відсутній чіткий алгоритм дій для проведення аналізу ефективного нормування

праці, встановлення основних критеріїв результативності проведеної оцінки фактичної тривалості робочого дня. Проблемою відсутності єдиного підходу до оцінки ефективності управління, дієвого інструменту аналізу, який би дав змогу комплексно характеризувати ефективність функціонування системи управління та слугував основою для подальшого її вдосконалення, перейнялися автори роботи [8]. За результатами наукового пошуку вони склали рекомендації щодо необхідності врахування під час оцінки системи управління організацією як людського, так і економічного фактора. До недоліків їх системи оцінювання слід віднести відсутність реального алгоритму дій. Аналіз публікацій показав відсутність дієвого механізму щодо визначення результативності роботи інженерів з охорони праці та критеріїв їх оцінки.

Мета дослідження – розробити алгоритм діагностики умов праці для підвищення результативності роботи фахівців з охорони праці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із найважливіших і найефективніших інструментів управління безпекою праці з коригувальною опцією небезпечного впливу «людської діяльності» на виробничий процес є перевірки стану умов праці на робочих місцях. Це основний метод поточного моніторингу стану умов праці, який описується в постанові КМУ «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) за дотриманням законодавства у сферах охорони праці, промислової безпеки, гігієни праці, поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення, праці, зайнятості населення, зайнятості та працевлаштування осіб з інвалідністю, здійснення державного гірничого нагляду Державною службою з питань праці» від 20.05.2020 № 383.

Перевірки фокусуються переважно на таких параметрах:

1) приміщення – доступ, евакуаційні шляхи, порядок і чистота, мікроклімат виробничого середовища;

2) обладнання – огороження механізмів і машин, місцева витяжна вентиляція, використання, зберігання хімічних речовин, поділ матеріалів;

3) процедури – системи безпечного виконання робіт, наряд-допуски, інструкції;

4) люди – методи роботи, дотримання правил, небезпечна поведінка, застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Перевірка може зосередитися на одному, декількох або всіх параметрах (табл. 1).

Пропонується на розгляд ініціативна пропозиція, яка містить організаційне рішення процесу діагностики стану охорони праці й охоплює всі кроки, починаючи з формування бази небезпек, проведення перевірок стану охорони праці і закінчуючи оцінкою небезпек на припустимість їх ризиків із відповідним управлінням змінами. Це програмний комплекс Monitoring of safety, виконаний у середовищі Microsoft Office Excel з підтримкою макросів, що має ряд невід'ємних форм, які в комплексі працюють як одне ціле (рис. 1).

Крок 1. Формування довідника небезпек. Усі небезпеки структуруються й систематизуються, для зручності подальших операцій їм присвоюється відповідний код. У табл. 2 наведено поділ небезпек за групами та підгрупами (графа 2). Також ця форма дає змогу побачити, яку кількість невідповідностей, пов'язану з тією чи іншою небезпекою, виявлено в процесі перевірки на відповідних робочих місцях (графи 3–17).

Крок 2. Проведення попередньої ідентифікації небезпек. Ідентифікація небезпек та оцінка пов'язаних із ними ризиків проводиться на кожному робочому місці, а за потреби – у кожній

Таблиця 1

Періодичність та зміст перевірки

Частота	Предмет перевірки
Раз на день	Устаткування критичне з погляду безпеки (наприклад, огляди навантажувачів водіями перед змінами, огляд оператором захисних пристроїв обладнання перед початком роботи). Приміщення – перевірка оператором верстата, підтримання чистоти на робочому місці після закінчення зміни
Раз на тиждень	Люди та процедури (наприклад, керівник перевіряє безпечне водіння та дотримання процедур водіями навантажувачів). Приміщення (наприклад, керівник перевіряє умови, що погіршуються із часом: загальний порядок і чистота, стан проходів та аварійних виходів, освітлення тощо)
Кожні півроку / щороку	Обладнання – передбачене законодавством техобслуговування обладнання компетентним спеціалістом: вантажопідйомні механізми та пристрої, системи вентиляції, резервуари високого тиску



Рис. 1. Замкнутий цикл діагностики стану умов праці

Таблиця 2

Довідник небезпек (фрагмент)

Код	Небезпека (НБ) чи небезпечна діяльність (НБД)	Кількість НБ (НБД) на виробничій ділянці, виявлених під час перевірки							Кількість НБ (НБД) на виробничій ділянці, виявлених під час перевірки виконання коригувальних дій							Усього за цикл
		робоче місце 1	робоче місце 2	робоче місце 3	робоче місце 4	робоче місце 5	робоче місце 6	Всього	робоче місце 1	робоче місце 2	робоче місце 3	робоче місце 4	робоче місце 5	робоче місце 6	Усього	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Організаційні																
О _{БП}	Кваліфікація персоналу з питань безпеки праці	11	15	8	13	20	17	84	0	0	0	0	0	7	7	91
Пов'язані зі станом робочих місць і проведенням робіт																
ВУІР	Використання виробничого устаткування, планування виробничих приміщень і виконання робіт	29	38	21	42	18	53	201	0	0	0	0	0	39	39	240

дільниці, кожному структурному підрозділі. Для проведення цієї діяльності формується експертна група під головуванням керівника структурної одиниці (керівник групи експертів), фахівців з охорони праці та членів постійно діючих комісій з питань охорони праці. Оцінювання ризиків проводиться методом експертної оцінки, а результати оцінювання приймаються консенсусом усіх експертів (табл. 2).

Загальна оцінка ризику, пов'язаного з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю, визначається за формулою:

$$R = P_e \times S \times T, \quad (1)$$

де R – ризик, пов'язаний із конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю, P_e – імовірність виникнення події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю, визначена експертною групою, S – інтенсивність та/або тяжкість наслідків впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю, T – тривалість у часі впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю.

Величини P_e , S , T оцінюються за 10-бальною шкалою. Рекомендовані шкали оцінювання наведені в табл. 3.

За результатами експертної оцінки неприпустимими ризиками є:

- ризики, які мають оцінку $R = 125$;
- ризики, які незалежно від величини R мають оцінку $P = 5$;
- ризики, які незалежно від величини R мають оцінку $T = 5$;
- ідентифіковані небезпеки чи небезпечна діяльність, унаслідок впливу яких мали місце надзвичайні ситуації, аварії та інциденти в минулому періоді. При цьому для таких небезпек потрібно провести повторне оцінювання.

Попередня ідентифікація небезпек, що проводиться експертною групою, в загальному відображає реальний стан умов праці на виробництві, бо «з кабінету» правдиво оцінити небезпеку чи небезпечну діяльність на припустимість ризиків, особливо за показником P_e «ймовірність виникнення події», вдається не завжди.

Крок 3. Проведення перевірки стану умов праці. За основу процесу перевірки стану охорони праці на робочих місцях запропоновано третій ступінь оперативного контролю, який здійснюється на рівні структурного підрозділу підприємства. До складу комісії входять незалежні кваліфіковані фахівці різних напрямів діяльності підприємства, і результат перевірки при цьому є найбільш об'єктивним, оскільки охоплює весь виробничий процес.

Під час проведення перевірки членами комісії безпосередньо на об'єкті заповнюється проміжна форма (табл. 4), яка згодом переноситься в програмне середовище.

Крок 4. Остаточна оцінка ризиків кожної з виявлених небезпек. Після введення в програмне середовище виявлених аудитором невідповідностей в автоматичному режимі проводиться актуалізація небезпек: остаточна ідентифікація і перевірка на припустимість їх ризиків.

За допомогою додаткового параметра – «коефіцієнта небезпеки» величина параметра «ймовірність виникнення події» змінюється залежно від фактичного стану умов праці на тому чи іншому робочому місці (табл. 5).

Коефіцієнт небезпеки – величина, яка впливає на ймовірність виникнення небезпеки чи небезпечної діяльності та визначається як добуток кількості виявлених у процесі перевірки невідповідностей однієї групи на співвідношення кількості працівників, відповідальних за організацію і забезпечення безпечних умов

Таблиця 3

Шкала оцінювання величин P_e , S , T

Імовірність виникнення події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю		Інтенсивність та/або тяжкість наслідків впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю		Тривалість у часі впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпекою чи небезпечною діяльністю	
P_e , бали	Опис	S , бали	Опис	T , бали	Опис
1	Малоймовірно, але слід прийняти до уваги	1–2	Дуже низька	1–4	Коротка
2	Можливо, але рідко	3–4	Низька	5–7	Середня
3–4	Можливо	5–6	Середня		
5–7	Імовірно	7–8	Висока	8–10	Довга
8–10	Дуже імовірно	9–10	Дуже висока		

Таблиця 4

Попередня оцінка небезпек (фрагмент)

Код НБ чи НБД	Небезпека (НБ) чи небезпечна діяльність (НБД)	Робочі місця, у яких має місце НБ чи НБД	Оцінка ризику, пов'язаного з НБ чи НБД				
			P _e	S	T	Загальна оцінка ризику R = P _e ·S·T	Висновок стосовно прийнятності ризику
O _{БП1}	Кваліфікація персоналу з питань безпеки праці						
O _{БП1-01}	Навчання та перевірка знань з питань безпеки праці	Робоче місце 1	3	7	4	84	припустимий
		Робоче місце 2	3	7	4	84	припустимий
		Робоче місце 3	3	7	4	84	припустимий
		Робоче місце 4	3	7	4	84	припустимий
O _{БП2}	Організаційні фактори з безпеки праці, обумовлені виробничими процесами (планування і організація робіт, безпечність, інформативність тощо)						
O _{БП2-01}	Забезпечення робочих місць інструкціями з охорони праці	Робоче місце 1	3	6	4	72	припустимий
		Робоче місце 2	3	6	4	72	припустимий
		Робоче місце 3	3	6	4	72	припустимий
		Робоче місце 4	3	6	4	72	припустимий

Таблиця 5

Проміжна форма для заповнення (фрагмент)

№ з/п	код НБ чи НБД	Виявлена невідповідність	Відповідальний за виконання заходу, термін впровадження
Загалом по всіх робочих місцях виробничо-механічної дільниці			
1	$O_{БП2-02-05}$	У підрозділі відсутній персонал для обслуговування та ремонту вантажопідіймальних кранів і машин (зокрема, стаціонарних кран-балок)	Шевченко А. В., 30.10.2021
		...	
		Робоче місце № 1	
7	$ВУіР_{05-09}$	Свердлильний верстат не укомплектовано пристосуванням (лещата, кондуктори тощо), що встановлюється на його столі для надійного закріплення деталей, що оброблюються	Іванів П. М., 30.09.2021
8	$O_{БП2-01-01}$	Робоче місце не забезпечене інструкціями з охорони праці	Іванів П. М., 06.10.2021

праці в підрозділі, до загальної кількості працівників у цьому ж підрозділі.

$$k = N_H \times \frac{N_{\text{итп}}}{N_n}, \quad (2)$$

де N_H – кількість небезпек (випадків небезпечної діяльності), виявлених у процесі перевірки; $N_{\text{итп}}$ – кількість інженерно-технічних працівників, відповідальних за стан охорони праці у відповідному виробничому підрозділі; N_n – загальна кількість працівників у відповідному виробничому підрозділі.

Тоді величина P «ймовірність виникнення події» розраховуватиметься за формулою:

$$P = P_e + P_e \times k, \quad (3)$$

де P_e – ймовірність виникнення події, що визначена експертною групою; k – коефіцієнт небезпеки.

Крок 5. Формування «Звіту про невідповідності», які виявлені під час перевірки. Виявлені

невідповідності структуруються за групами, візуалізуються за видами у формі діаграми, окремо вказуються ті, що мають неприпустимі ризики. Заповнена форма «Звіту про невідповідності» виводиться в автоматичному режимі (табл. 6).

Після спливу терміну впровадження коригувальних дій відповідальний перевіряльник проводить повторну перевірку, виявляє невідповідності за їх наявності. Також в автоматичному режимі проводиться оцінка залишкового ризику.

Як відомо з найкращого світового досвіду з питань управління охороною праці, для досягнення сталого поліпшення стану виробничої безпеки у сфері охорони праці потрібно впроваджувати глобальну стратегію Vision Zero [9], однією з безумовних складових якої є модернізація виробничого процесу. Звісно, удосконалюючи обладнання, автоматизуючи технологічні процеси, підтримуючи у справному стані машини, механізми та пристрої,

Таблиця 6

Звіт про невідповідності (фрагмент)

№ з/п	Код НБ чи НБД	Опис невідповідності (заповнює особа, що виявила невідповідність)	Кількість однотипних невідповідностей	Пункт і назва нормативного документа, вимоги якого були порушені	Заплановані заходи (коригувальні дії)	Підрозділ, відповідальний за впровадження	Термін впровадження (виконання)
1	О _{БП1-01-02}	Працівникам, які зайняті на роботах із підвищеною небезпекою, не проведено спеціальне навчання з питань охорони праці	1	Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (р. 2, р. 3)	Забезпечити проведення з внесенням відповідних записів у «Журнал проведення спеціального навчання з питань охорони праці»	1.5	30.09.23
2	О _{БП1-01-07}	«Переліки питань для перевірки знань з питань охорони праці...» для окремих професій робітників розроблено не всіма членами ПДК з перевірки знань	1	Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (п. 2.12)	Розробити всіма членами ПДК з перевірки знань, затвердити у встановленому порядку та забезпечити наявність у підрозділі	1.1, 1.2, 1.3, 1.4	30.09.23
3	О _{БП1-01-12}	У «Журналі проведення спеціального навчання з питань охорони праці» не пронумеровані сторінки	1	Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (п.3.1)	Пронумерувати сторінки	1.2	30.09.23
4	О _{БП1-01-28}	Спеціальне навчання працівників здійснено не за всіма необхідними програми спеціального навчання для виконання відповідних робіт	2	Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (п. 3.1)	Провести навчання, у «Журналі проведення спеціального навчання з питань охорони праці» зазначити всі необхідні програми спеціального навчання	1.3, 1.4	30.09.23

можна зменшити кількість небезпек або суттєво знизити пов'язані з ними ризики. Проте ці заходи будуть ефективними тільки до певного рівня, на якому етапі все одно у справу втрутиться горезвісний «людський фактор» [10]. У підсумку практично всі небезпечні ситуації створюються виключно виконавцями робіт. Ці, на перший погляд, не зовсім поєднанні процеси за допомогою вдалого алгоритму працюють як одне ціле і, доповнюючи один одного, формують повний цикл моніторингу стану охорони праці. Гарним поєднанням є процес автоматизації збору інформації та систематизації отриманих даних, а саме структуризація і систематизація виявлених небезпек з автоматичною актуалізацією їх ризиків щоразу після завершення перевірки. Відразу після завершення перевірки керівнику робіт доводяться виявлені невідповідності, серед яких окремо виділяються ті, що мають неприпустимі ризики. Такий спосіб подання інформації

забезпечує прийняття керівниками робіт оперативних рішень щодо усунення негативних проявів «людського фактора» в процесі виробничої діяльності, своєчасного приведення ризиків до прийнятного рівня, змушує їх діяти «на випередження», попереджуючи таким чином імовірний виробничий травматизм [11, 12, 13]. У кінцевому підсумку стає можливим мінімізація «паперового навантаження» на відповідальних працівників-аудиторів, що вивільняє досить робочого часу для забезпечення належного виконання ними своїх першочергових функцій, а це – безпосередня присутність на виробництві та побудова належної культури безпеки праці.

Для правильного функціонування програми користувачеві достатньо сумлінно занести вихідну інформацію про перевірку знань працівників, у подальшому всі вищеописані операції відбуваються в автоматичному режимі з досить простою системою налаштувань під кожен

окремих випадках. Це не потребує великих зусиль для роботи в такому середовищі.

Як свідчить практика, після запровадження автоматизованого ведення моніторингу за навчанням і перевіркою знань в інженера з охорони праці вивільняється доволі робочого часу, який раніше використовувався для опрацювання інформації на паперових носіях, і, як наслідок, з'являється час на проведення аудитів стану охорони праці робочих місць і виявлення порушень та невідповідностей, кожні з яких можуть стати фатальними.

Система звітності та планової обов'язкової роботи з питань охорони праці впродовж року нараховує близько 70 позицій, не враховуючи інформування й контроль за виконанням директивних документів у структурних підрозділах.

Свого роду це організатор інженера з охорони праці, який об'єднує систему звітності за напрямом охорони праці та контролю за інформативністю підзвітних осіб щодо усунення виявлених недоліків і порушень, виконання наказів, розпоряджень, організаційно-технічних заходів тощо.

Переваги та можливості:

1) відображення в одному файлі всієї інформації щодо звітності та інформативності з питань охорони праці (акти ПДК, звіти про невідповідності, приписи ВОП та ПБ, приписи наглядових органів, заходи, накази, розпорядження, листи тощо);

2) автоматичне проведення вибірки позицій, щодо яких ще не проведено певну роботу, не проінформовано;

3) автоматичне надсилання за допомогою email-листування результатів вибірки окремо кожній підзвітній особі;

4) друк результатів вибірки окремо стосовно кожної підзвітної особи.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Розроблено замкнутий цикл діагностики стану умов праці, який складається з п'яти кроків: формування довідника небезпек, проведення попередньої ідентифікації небезпек, проведення перевірки стану умов праці, остаточна оцінка ризиків кожної з виявлених небезпек, формування «Звіту про невідповідності», які виявлені під час перевірки.

2. Визначені основні групи небезпек для формування довідника небезпек, які враховують економічну діяльність організації.

3. Запропоновано для попередньої оцінки ризику, крім імовірності та тяжкості наслідків впливу події, пов'язаної з конкретною ідентифікованою небезпечкою чи небезпечною діяльністю, що визначена експертною групою, використовувати тривалість впливу події в часі, що дасть змогу відслідковувати ймовірні зміни в характеристиках небезпек.

4. Заплановано для остаточної оцінки виявлених небезпек використовувати додатковий параметр – «коефіцієнт небезпеки», який являє собою величину параметра «ймовірність виникнення події», який змінюється залежно від фактичного стану умов праці на тому чи іншому робочому місці

5. Розроблено алгоритм діагностики стану умов праці на основі попередньої і остаточної оцінки ризиків, відмінністю якого від відомих є застосування коефіцієнта небезпек. Розроблені шкали для оцінки ймовірності небезпечної події, інтенсивності впливу небезпечного чинника та тривалості його впливу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ніпіаліді О., Васильчишин О. Сучасний стан охорони праці в Україні у контексті забезпечення її інноваційного розвитку. *Актуальні проблеми правознавства*, 2020, № 1. С. 164–169. <https://doi.org/10.35774/app2020.01.164>.
2. Дембіцька С. В., Кобилянська І. М. Управління пізнавальною діяльністю студентів під час вивчення безпеки життєдіяльності шляхом впровадження методів проектного навчання. *Педагогіка безпеки*. 2016. № 1. С. 53–58. <https://doi.org/10.31649/2524-1079-2016-1-1-53-58>.
3. Чеберячко Ю. І., Дерюгін О. В., Архірей М. М. Удосконалення процедури проведення поведінкового аудиту безпеки праці. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2021. № 43. С. 179–190. <https://doi.org/10.32782/2225-6733.43.2021.22>.
4. Скриньковський Р. М., Костюк Н. Р., Семчук Ж. В., Коропецький О. О. Діагностика політики керівництва у сферах якості, інформаційної безпеки й охорони праці та механізм забезпечення гідної праці на підприємстві. *Бізнес Інформ*. 2016. № 3. С. 131–137. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2016_3_18.
5. Яскал О. Діагностика ефективності праці на підприємствах в умовах розвитку інноваційної економіки. *Економіка та суспільство*. 2020. № 22. С. 8–11. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-49>.
6. Павловські Г. Діагностика ефективності нормування праці управлінського персоналу на підприємстві. *Бізнес Інформ*. 2017. № 2. С. 331–337. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2017_2_50.

7. Лисенко Ю. В. Діагностика ефективності нормування праці управлінського персоналу на підприємстві. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Серія: Економічні науки*. 2007. № 12 (1). С. 117–123. Режим доступу: https://core.ac.uk/display/42032048?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1.
8. Кравчик Ю., Польова Н., Каткова Т. Діагностика ефективності системи управління організацією. *Innovation and Sustainability*. 2022. № 3. С. 87–94. <https://doi.org/10.31649/ins.2022.3.87.94>.
9. Колодяжний М. Г. Європейська стратегія Vision Zero: сутність й напрями запровадження в Україні. *Нове українське право. Спеціальний випуск*. 2023. № 1. С. 172–178. <https://doi.org/10.51989/NUL.2022.6.1.24>.
10. Севальнєв А. І., Шаравара Л. П. Оцінка професійного ризику порушення здоров'я працівників провідного металургійного підприємства. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2015. № 4. С. 62–68. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ujpmpr_2015_4_9.
11. Цопа В. А. Принципи, структура та процес керування ризиками. *Науково-виробничий журнал Охорона праці*. 2019. № 1. С. 26–29. Режим доступу: <https://ohorona.praci.kiev.ua/journal/ohorona-praci-12019?lang=#page=2>.
12. Tsopa V.A., Cheberiyachko S.I., Yavorska O.O., Deryugin O.V., Aleksieiev A.A. Improvement of the safe work system. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2022. № 6. P. 104–111. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/104>.
13. Цопа В. А., Маматова Т. В., Яворська О. О., Чеберячко С. І., Чеберячко Ю. І., Дерюгін О. В. Формування нової концепції здорового і безпечного робочого місця в Україні. *Проблеми охорони праці в Україні*, 2023. № 39 (1–2). С. 28–37. https://doi.org/10.36804/nndipbop_39-1-2.2023.28-37.

REFERENCES:

1. Nipialidi, O., Vasylychshyn, O. (2020). Suchasnyy stan okhorony pratsi v Ukrayini [u konteksti zabezpechennya yiyi innovatsiynoho rozvytku [Current state of labour protection in Ukraine in the context of ensuring and innovative development]. *Actual problems of jurisprudence*, 1, 164–169. <https://doi.org/10.35774/app2020.01.164> [in Ukrainian].
2. Dembitska, S.V., Kobylianska, I.M. (2016). Upravlinnya piznaval'noyu diyal'nistyu studentiv pid chas vyvchennya bezpeky zhyttyedyal'nosti shlyakhom vprovadzhennya metodiv proektnoho navchannya [Management of informative activity of students at studying of the course of life safety by implementing the methods of project training]. *Health and safety pedagogy*, 1, 53–58. <https://doi.org/10.31649/2524-1079-2016-1-1-53-58> [in Ukrainian].
3. Cheberiyachko, Yu.I., Deriuhin, O.V., Arkhirei M.M. (2021). Udoskonalennya protsedury provedennya povedinkovoho audytu bezpeky pratsi [Improving the procedure of behavioural occupational safety audit]. *Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, 43, 179–190. <https://doi.org/10.32782/2225-6733.43.2021.22> [in Ukrainian].
4. Skrynkovskyy, R.M., Kostyuk, N.R., Semchuk, Zh.V., Koropetskyi, O.O. (2016). Diahnostyka polityky kerivnytstva u sferakh yakosti, informatsiynoyi bezpeky y okhorony pratsi ta mekhanizm zabezpechennya hidnoyi pratsi na pidpryyemstvi [Diagnostics of Management Policy in the Areas of Quality, Social Responsibility, Information Security and Labor Safety, Mechanism for Provision of Decent Work at Enterprise]. *Business Inform*, 3, 131–137. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2016_3_18 [in Ukrainian].
5. Yaskal, O. (2020). Diahnostyka efektyvnosti pratsi na pidpryyemstvakh v umovakh rozvytku innovatsiynoyi ekonomiky [Diagnosis of labor efficiency at enterprises in the conditions of development of innovative economy]. *Economy and Society*, 22, 8–11. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-49> [in Ukrainian].
6. Pavlovski, G. (2017). Diahnostyka efektyvnosti normuvannya pratsi upravlins'koho personalu na pidpryyemstvi [Diagnostics of the effectiveness of labor regulation of management personnel at the enterprise]. *Business Inform*, 2, 331–337. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2017_2_50 [in Ukrainian].
7. Lysenko, Yu.V. (2007). Diahnostyka efektyvnosti normuvannya pratsi upravlins'koho personalu na pidpryyemstvi [Diagnostics of the effectiveness of labor regulation of management personnel at the enterprise]. *The collection of scientific works of Kirovohrad national technical university. Economic sciences*, 12 (1), 117–123. Available from: https://core.ac.uk/display/42032048?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1 [in Ukrainian].
8. Kravchyk, Y., Polyova, N., Katkova, T. (2022). Diahnostyka efektyvnosti systemy upravlinnya orhanizatsiyeyu [Diagnostics of the efficiency of the organization management system]. *Innovation and Sustainability*, 3, 87–94. <https://doi.org/10.31649/ins.2022.3.87.94> [in Ukrainian].

9. Kolodyazhny, M (2023). Yevropeys'ka stratehiya Vision Zero: sutnist' y napryamy zaprovadzhennya v Ukraini [European Vision Zero strategy: essence and directions of implementation in Ukraine]. *New Ukrainian Law. Special Issue*, 1, 172–178. <https://doi.org/10.51989/NUL.2022.6.1.24> [in Ukrainian].
10. Sevalnev, A.I., Sharavara, L.P. (2015). Otsinka profesiynoho ryzyku porushennya zdorov'ya pratsivnykiv providnoho metalurhiynoho pidpryyemstva [Assessment of occupational health risks for employees of a leading metallurgical enterprise]. *Ukrainian Journal of Occupational Health*, 4, 62–68. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ujpmmp_2015_4_9 [in Ukrainian].
11. Tsopa, V.A. (2019). Pryntsypy, struktura ta protses keruvannya ryzykamy [Principles, structure and process of risk management]. *Scientific and Industrial Journal of Occupational Safety*, 1, 26–29. Available from: <https://ohoronapraci.kiev.ua/journal/ohorona-praci-12019?lang=#page=2> [in Ukrainian].
12. Tsopa, V.A., Cheberiachko, S.I., Yavorska, O.O., Deryugin, O.V., Aleksieiev, A.A. (2022). Improvement of the safe work system. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 104–111. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/104>.
13. Tsopa, V.A., Mamatova, T.V., Yavorska, O.O., Cheberiachko, S.I., Cheberiachko, Yu.I., Deryugin, O.V. (2023). Formuvannya novoyi kontseptsii zdorovoho i bezpechnoho robochoho mistysya v Ukraini [Formation of a new concept of a healthy and safe workplace in Ukraine]. *Labour Protection Problems In Ukraine*, 39 (1–2), 28–37. <https://doi.org/10.36804/nndipbop-39-1-2.2023.28-37> [in Ukrainian].

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Сіданченко В. В., Гусєв О. Ю., Нікольська О. І. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОЇ ПРОЦЕДУРИ ПРОГНОЗУ ФРАКТАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА КАЛМАНОМ.....	3
Соколова Н. О., Бешта Л. В., Бешта Д. О. ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЇ: РОЗКІШ ЧИ НЕОБХІДНІСТЬ?.....	10

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Папаїка Ю. А., Лисенко О. Г., Буртний Д. І. ПРОБЛЕМА ПЕРЕТОКІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ПІДЗЕМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ.....	14
Дрешпак Н. С. СТАНДАРТИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ ТА ІНШИХ ТОВАРІВ.....	18

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

Бубліков А. В., Іванський І. І. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	23
Бубліков А. В., Яцюк Д. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ВИДОБУВНОГО КОМБАЙНА.....	32

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

Голінько В. І., Голінько О. В., Муха О. А. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВИБУХОЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ШАХТ.....	45
Муха О. А., Архірей М. М., Чернов В. М., Тільний С. В., Сосулев Є. І. ПИТАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ АУДИТУ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	52

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES

Sidanchenko Vladyslav, Gusev Oleksandr, Nikolska Olena

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE MODIFIED
PROCEDURE FOR FORECASTING FRACTAL PROCESSES WITH KALMAN.....3

Sokolova Natalya, Beshta Liliia, Beshta Dmytro

INFORMATION VISUALIZATION: LUXURY OR NECESSITY?.....10

POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Papaika Yuri, Lysenko Alexandra, Burtnyi Dmytro

THE PROBLEM OF REACTIVE POWER FLOWS IN UNDERGROUND POWER SUPPLY
SYSTEMS OF COAL MINES.....14

Dreshpak Nataliia

ENERGY EFFICIENCY STANDARDS FOR APPLIANCES AND PRODUCTS.....18

AUTOMATION, COMPUTER INTEGRATION TECHNOLOGIES AND ROBOTICS

Bublikov Andrii, Ivanskyi Illia

SYNTHESIS AND STUDY OF THE SYSTEM FOR OPTIMAL POSITION CONTROL
OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC INSTALLATION.....23

Bublikov Andrii, Yatsiuk Dmytro

STUDY AND SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC SPEED CONTROL
OF MOVEMENT OF THE EXECUTIVE BODY OF A MINING MACHINE.....32

CIVIL SECURITY

Holinko Vasyl, Holinko Oleksandr, Mukha Oleh

IMPROVING THE RELIABILITY OF EXPLOSION PROTECTION OF MINE WORKINGS.....45

Mukha Oleg, Arkhirei Mykhaylo, Chernov Vyacheslav, Tilnyi Serhiy, Sosulev Yehor

THE ISSUE OF IMPROVING THE AUDIT ON LABOR PROTECTION.....53

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Науково-технічний збірник

Випуск 105

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнецова

Формат 60x84/8. Гарнітура Arial.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 7,57. Замов. № 0424/290. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.