

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

3 (140) 2022

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (140). - Дніпро, 2022. – 221с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)

Архипов О.Є. - д.т.н., проф.

Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.

Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.

Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гуда А.І. - д.т.н., проф.

Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.

Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гожий О.П. - д.т.н., проф.

Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.

Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.

Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Українського державного університету науки і технологій
від 28.03.2022 р., № 5

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»
кафедра Інформаційних технологій та систем.
Тел. +38(097)6854525
E-mail: st@nmetau.edu.ua
<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
ІБК «Системні технології», 2022

Л.Г. Ахметшина, С.К. Мітрофанов, О.В. Книш

ПЕРЕДОБРОБКА РЕНТГЕНОГРАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ВІЗУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Аннотація. В області медичної візуалізації фундаментальне значення має поліпшення зображень різної фізичної природи для підвищення вірогідності діагностування на їх основі. Слабкий контраст - поширений дефект рентгенівських знімків. Представлені інформаційні можливості методу передобробки напівтонових зображень, спрямованого на підвищення чутливості та достовірності їх візуального аналізу. Запропонований алгоритм має декілька етапів обробки: просторові методи гістограмної еквалізації, нечітку інтенсифікацію, поліпшення в частотній області. Показано, що застосування запропонованої технології за рахунок підвищення контрастності та роздільної здатності, дозволяє значно покращити деталізацію вихідних даних. Перерозподіл яскравості гістограми в середній діапазон рівнів сірого відповідає найкращому зоровому сприйняттю, що зумовлює достовірність діагностики на основі рентгенограми. Наведено експериментальні результати на прикладі реальних знімків.

Ключові слова: слабоконтрастні зображення, рентгенограма, еквалізація гістограми, нечіткі методи, візуальний аналіз, функція належності, оператор інтенсифікації.

Вступ. В даний час аналіз зображень використовується в різних додатках, зокрема, в медицині вони є важливим діагностичним інструментом, що дозволяє швидко оцінити стан пацієнта [1]. Медичні зображення мають різну фізичну природу – рентгенівські знімки (XR), комп'ютерна томограма (КТ), магнітно-резонансне зображення (МРТ), емісійна позиційна томографія (ПЕТ), однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОФЭКТ) и цифрова рентгенографія. Кожна з них потребує специфічних методів обробки, метою якої є підвищення якості можливості виявлення неозброєним оком дрібних деталей, меж структур, аномальних складових [2].

Рентгенівські зображення - одна з найстаріших методик, яка використовується для аналізу аномалій щільних тканин. Недостатня якість рентгенівських знімків обумовлена як фізичними особливостями використовуваної апаратури (неоднорідність фону, нелінійність характеристик передачі рівнів сірого, шуми різного походження), так і процесом їх формування (анатомічні особли-

вості пацієнта, динамічні спотворення та ін.) [1]. Якість рентгенівських знімків зазвичай необхідно підвищити, застосовуючи техніку попередньої обробки, яка є важливим етапом, що зумовлює чутливість і достовірність подальшого аналізу або сегментації, що використовується для виявлення об'єктів інтересу.

Постановка задачі. Основною метою цієї статті є оцінка впливу на якість яскравих характеристик рентгенівського знімка результатів передобробки з використанням комбінації просторових методів гістограмної еквалізації, нечіткої інтенсифікації та поліпшення в частотній області.

Аналіз публікацій. Можна виділити два основних підходи до цифровій обробці зображень - просторові методи, які засновані на прямій маніпуляції з характеристиками пікселів вихідного зображення і частотні методи перетворень, що здійснюється на основі Фур'є- або вейвлет- перетворень. Для отримання необхідного результату зазвичай необхідно використання різних комбінацій методів [3].

Середі просторових методів по широті та ефективності застосування слід виділити гістограмні методи перетворення [3, 4].

Еквалізація гістограми (Histogram Equalization-GE) це проведення таких перетворень, які забезпечують присутність на зображенні в рівних кількостях пікселів з різними значеннями із заданого динамічного діапазону інтенсивності. В більшості випадків це істотно розширює динамічний діапазон яскравості, що призводить до більш чіткого відображення дрібних деталей. Особливо сильно цей ефект проявляється на низькоконтрастних зображеннях.

Гіперболізація гістограми (СНН) виконує видозміну гістограми вихідного зображення так, що щільність ймовірності результуючого зображення приймає гіперболічну форму. Метод гіперболізації заснований на властивостях людського зору: передбачається, що в зоровій системі вихідний сигнал фоторецепторів пропорційний логарифму вхідної яскравості (психофізичний закон Вебера-Фехнера), тому результуюча щільність ймовірності виявиться рівномірною.

Недоліком цих методів є те, що вони застосовується до вихідного зображення в цілому, що, як показує практика, досить часто не здатне адекватно реагувати на наявність ділянок низького контрасту різної природи в межах одного знімка.

Метод адаптивної еквалізації гістограми або CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) спочатку був розроблений для обробки медичних зображень. Алгоритм цього методу заснований на віконному перетворенні

(рекомендований розмір вікна 8x8 пікселів), що дозволяє враховувати просторову складову.

Ці методи обробки зображень розглядають значення пікселів як точні константи, в той час як існують об'єктивні причини присутності у цифрових зображеннях нечіткості та невизначеності [5]:

- втрата інформації під час відображення об'єктів з тривимірного (3-D) простору, до 2-D проекції;
- рівень сірого має невизначеність через недосконалість системи формування, дискретизацію, квантування, а також статистичну випадковість;
- межі об'єктів, співвідношення з фоном та їх параметри є невизначеними за природою.

Для обліку цих факторів в даний час розробляються нові методи, які засновані на ідеях нечіткості. Такий підхід є свого роду нелінійним перетворенням, відмінність якого від інших методів полягає в тому, що обробка виконується над одним або кількома значеннями функції належності щодо властивостей, які є цілю аналізу (наприклад, яскравість, межі, однорідність) [5].

Основна частина. Цифрове зображення - це двовимірний масив квантованих значень шкали сірого $G(x,y)$, які відповідають рівнім яскравості пікселів. Якщо глибина кольору становить 12 біт (MPT), зображення може мати 212 або 4096 рівня відтінків сірого; 8-розрядне зображення (XR) має 128 або 256 значень.

На рис. 1 а представлена рентгенограма та гістограма зображення шийного відділу хребта, на якому спостерігаються розмиті межі об'єктів інтересу (хребти та між хребцеві диски), відсутня деталізація їх структури.

На рис. 1 б, 1 в відображений результат застосування методів GE і CLANE, який показує, що з точки зору підвищення візуальної чутливості та роздільної здатності при візуальному аналізі зони інтересу відносно поліпшення забезпечує CLANE.

Недостатня ефективність поліпшення якості такого типу зображень з використанням чітких методів перетворення гістограми для пов'язана з такими факторами:

- повний діапазон рівнів сірого, з наявністю значних темних та світлих ділянок;
- наявність окремих чітких меж об'єктів;
- зміни рівнів сірого в зоні інтересу нижче за поріг зорового сприйняття;

- мультимодальна гістограма з незначними піками (методи, що використовують апріорі задані межі для виділення областей інтересу, дають значні помилки);

- невизначеність у наявності об'єктів інтересу та їх характеристиках, які часто знаходяться у низьких та високих областях діапазону яскравості та співставні з рівнем шуму та зміни фону.

Предобробка зображень з використанням нечітких методів ґрунтується на відображенні рівнів сірого яскравості до нечіткої площини використовуючи перетворення членства [6, 7].

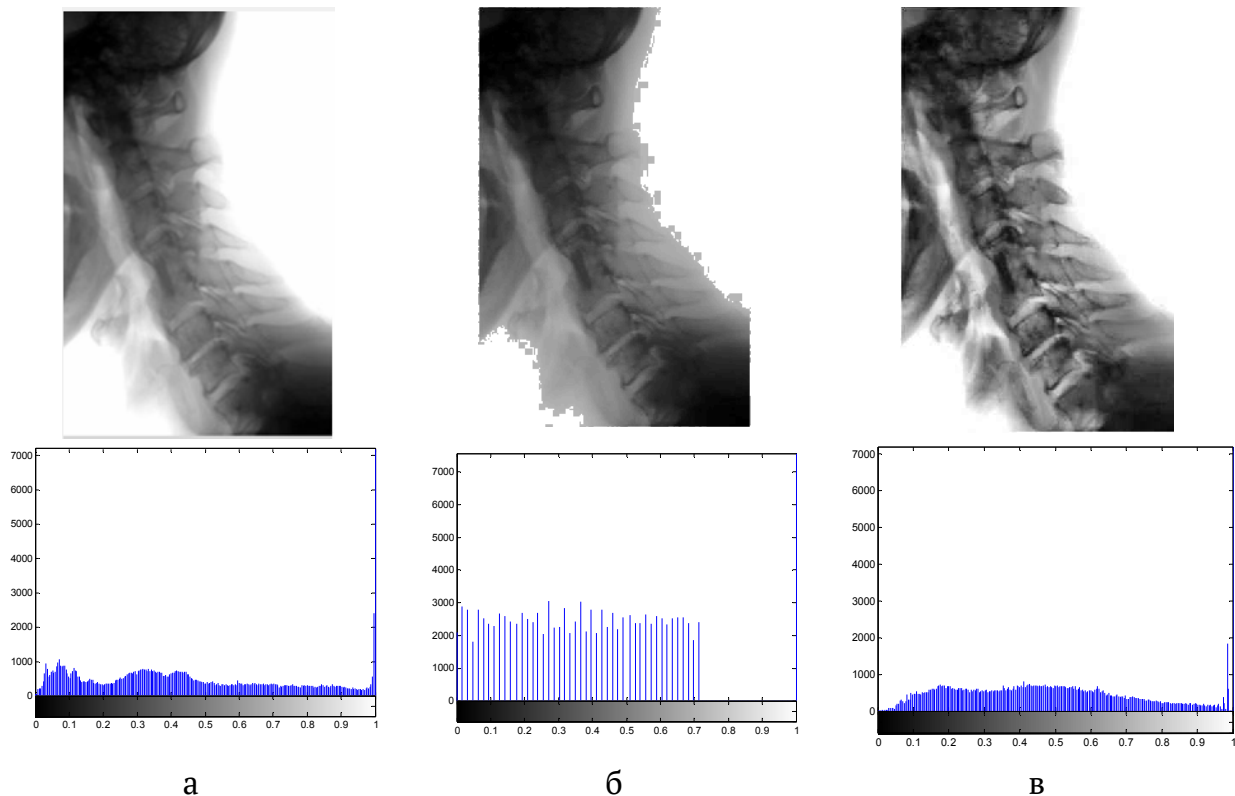


Рисунок 1 - Рентгенограма та її гістограма: (а) – вихідне зображення; використання методів (б) - GE (б), (в) - CLAHE (в)

Зображення G розміру $M \times N$ з L - рівнями сірого яскравості може бути представлено у вигляді масиву нечітких множин щодо аналізованої властивості зі значенням функції належності яка змінюється в інтервалі $[0,1]$ для кожного пікселя g_{mn} :

$$G = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \frac{\mu_{mn}}{g_{mn}}. \quad (1)$$

Ця функція належності, передбачає характеристичне значення $\mu_A(g_{mn}) = 1$ для тих елементів g_{mn} , які повністю належать до деякої множини A , $\mu_A(g_{mn}) = 0$ для пікселів, які не належать до множини A . Елементи, які мають часткове членство в наборі мають значення $0 < \mu_A(g_{mn}) < 1$.

Функція належності характеризує відповідну властивість зображення (наприклад, темряву, текстурну) і може бути визначена глобальною для всього зображення або локально для його сегментів. Однією з стандартних функцій, яка в більшості випадків є зручною для представлення функції належності нечіткого набору в реальних задачах, є S-функція

$$\mu(g_{mn}) = \frac{g_{mn} - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}}, \quad (2)$$

що являє собою нечіткий набір "яскравих зображень", $g_{\min}$ та $g_{\max}$ - це мінімальні та максимальні значення гістограми зображення. Цілком можливо вибрати інші форми функцій приналежності, які характеризують саме зображення або його властивість краще, ніж такі загальні функції.

Техніки будь-якого типу маніпуляції з гістограмою перетворюють сірий рівень $g(x,y)$ оригінального зображення в $g'(x,y)$ у покращене зображення

$$g'_{mn} = f(\mu_A(g_{mn})), \quad (3)$$

де f - функція перетворення функції належності.

При реалізації нечіткої гіперболізації гістограми використовується трикутна функція належності та фаззіфікатор β , що розраховується по формулі

$$\beta = -0.75 + \mu * 1.5, \quad (4)$$

$$G'(x, y) = \left(\frac{g_{\max}}{e^{-1} - 1} \right) * \left(e^{-\mu^\beta} - 1 \right). \quad (5)$$

Підвищення контрастності за допомогою оператора інтенсифікації (INT) використовується для зменшення нечіткості та збільшення контрастності зображення [8]. Функція належності визначена у даному випадку розраховується за формулою:

$$\mu_{mn} = \left[1 + \frac{g_{\max} - g_{mn}}{F_d} \right]^{-F_e}, \quad (6)$$

де F_e та F_d є деномінаційне та експоненціальне значення параметрів фаззіфікації, відповідно. Для параметру F_e рекомендується встановлювати значення $F_e = 2$, F_d визначається за формулою

$$F_d = \frac{g_{\max} - g_{mid}}{0.5^{\frac{1}{F_e}} - 1}, \quad (7)$$

де g_{mid} , - середнє значення рівня сірого зображення. Чисельно, коли $\mu_A(g_{mn}) \rightarrow 1$ то рівень сірого також наближається до максимальної яскравості $g_{mn} \rightarrow g_{\max}$.

$$\mu'_{xy} = \begin{cases} 2 * \mu_{mn}^\alpha, 0 \leq \mu_{mn} \leq 0.5 \\ 1 - 2 * (1 - \mu_{mn})^\alpha, 0.5 \leq \mu_{mn} \leq 1 \end{cases}, \quad (8)$$

Після модифікації функції зворотній перехід в чіткий простір виконується на основі функції дефаззифікації

$$G'(x, y) = g_{\max} - F_d * \left((\mu'_{mn})^{-1/F_e} - 1 \right) \quad (9)$$

У даній роботі запропоновано технологію обробки рентгенівських зображень з використанням методів CLAHE, INT та методу покращення зображень у частотній області, алгоритм якого включає наступні шага:

1. Застосування адаптивного методу еквалізації гістограми (CLAHE) до вихідного зображення.

2. Перехід у нечіткий простір, обробка за допомогою оператора інтенсифікації (INT):

- встановлення параметрів $F_e=2$, $\alpha=1.8 - 2$;
- розрахунок F_d за формулою (7), g_{min} та g_{max} ;
- перетворення рівнів сірого вихідного зображення G з у нечіткий простір за допомогою перетворення (6);
- рекурсивна модифікація функції належності μ на основі (8);
- генерація нового зображення G' за допомогою зворотного перетворення (9);

3. Застосування адаптивного методу еквалізації гістограми (CLAHE) до значення $abs(G')$.

4. Перехід в частотну область з використанням перетворення Фур'є

- перетворення модуля комплексної функції $F(m, n)' = |F(m, n)|^{0.8}$;
- зворотне перетворення Фур'є;

5. Візуалізація модуля відновленої функції $abs(F(m, n)')$ після адаптивного перетворення гістограми.

Експериментальні результати. На рис. 2 представлені результати обро-

бки запропонованим алгоритмом рентгенограми рис. 1 а для значення $\alpha = 1.9$.

Як видно з рис. 2 застосування запропонованого алгоритму істотно підвищує чутливість та роздільна значність зображення: виявлено дрібні деталі, дефекти плівки, що дозволяє підвищити достовірність його візуального аналізу. Перерозподіл яскравості гістограми в середній діапазон відповідає найкращому зоровому сприйняттю. Застосування обробки тільки в просторовій області при поєднанні методів CLANE і INT (рис. 2 б) підвищує контрастність і роздільну здатність зображення, але має меншу чутливість.

У результаті експерименту було виявлено значний вплив на результат параметру нечіткого перетворення α в (8). Зміна α в діапазоні 1.8 – 2 дозволяє регулювати ступінь контрастності та деталізації.

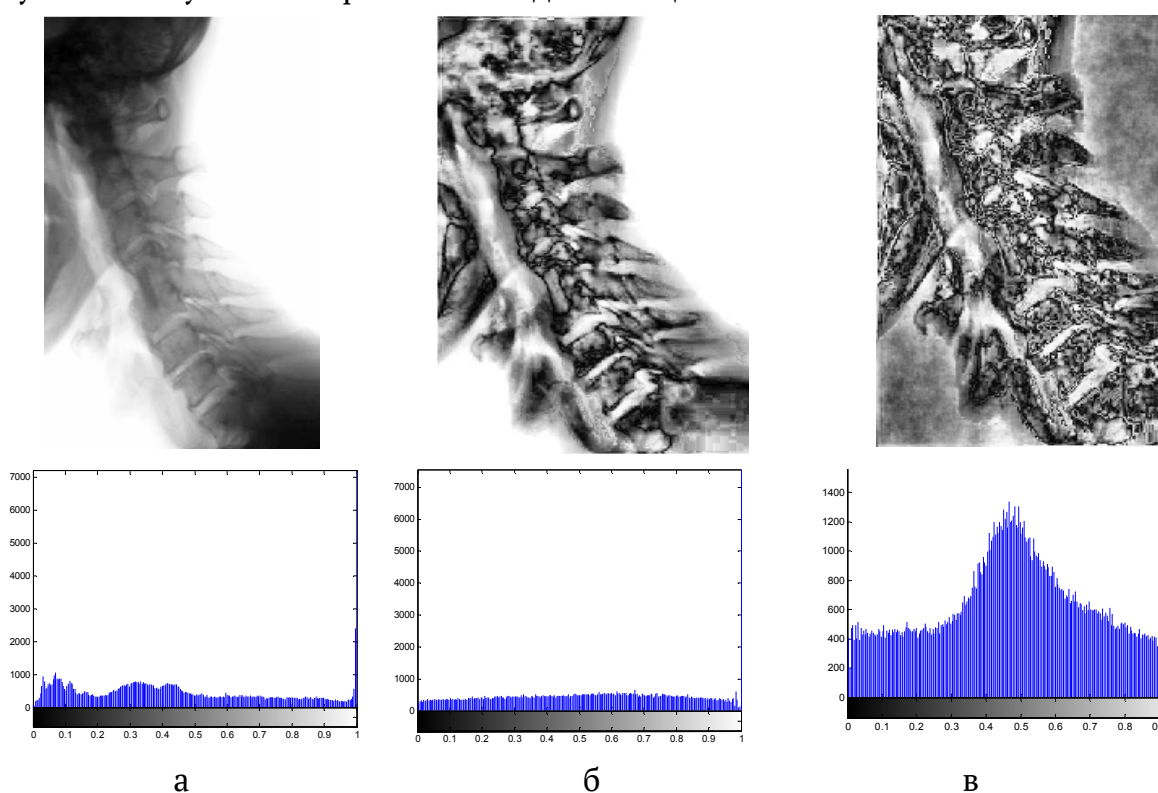


Рисунок 2 - Обробка рентгенограми рис 1.а запропонованим алгоритмом:
а) п. 1; б) п. 2 ; результуюче зображення

Висновки.

Технологія обробки зображень при поєднанні методів обробки у просторовій області методом CLANE та нечітким оператором INT, з подальшим перетворенням в частотній області дозволяє підвищити контрастність і роздільну здатність зображення.

Параметр нечіткого перетворення α в методі INT суттєво впливає на ступінь деталізації результату.

ЛІТЕРАТУРА

1. An analysis of x-ray image enhancement methods for vertebral bone segmentation IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing & its Applications (CSPA2014) (7 - 9 Mac. 2014, Kuala Lumpur, Malaysia). 2014. P. 208-211.
2. M. S. V Sokashe, "Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images," Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387-4389.
3. Pratt W.K. Digital Image Processing / Pratt W.K. – New York; – Chichester; – Weinheim; – Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. –1070 с.
5. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
6. Horst Haußecker. Handbook of Computer Vision and Applications. -V. 2. Signal Processing and Pattern Recognition / Horst Haußecker, Hamid R. Tizhoosh.- Academic Press. -1999. -722p.
7. Ахметшина Л.Г., А.А. Егоров. Нечеткая кластеризация полутоновых изображений на основе преобразования исходных данных //Искусственный интеллект.- Киев, – 2018. № 3.– С. 36-43.
8. Ахметшина Л.Г., С.К. Митрофанов. Поліпшення і сегментація слабоконтрастних зображень на основі методу нечіткої інтенсифікації //матеріали IV Всеукр. наук.-практ. конф. 27-29 листопада, 2019. Дніпро, Україна. Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем (MEICS'2019), - С. 126-127.

REFERENCES

1. An analysis of x-ray image enhancement methods for vertebral bone segmentation IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing & its Applications (CSPA2014) (7 - 9 Mac. 2014, Kuala Lumpur, Malaysia). 2014. P. 208-211.
2. M. S. V Sokashe, "Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images," Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387-4389.
3. Pratt W.K. Digital Image Processing / Pratt W.K. – New York; – Chichester; – Weinheim; – Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.

4. Honsales R. Tsyfrova obrobka zobrazen'/Honsales R., Vuds R.; [Per. z anhl. za red. P.A.Chochia]. - M.: Tekhnosfera, 2006. -1070 s.
5. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
6. Horst Haußecker. Handbook of Computer Vision and Applications. -V. 2. Signal Processing and Pattern Recognition / Horst Haußecker, Hamid R. Tizhoosh.- Academic Press. -1999. -722p.
7. Ahmetshina L.G., A.A. Egorov. Nechetkaya klasterizaciya polutonovyh izobrazhenij na osnove preobrazovaniya iskhodnyh dannyh //Iskusstvennyj intellekt.- Kiev, – 2018. № 3.– S. 36-43.
8. Ahmetshina L.G., S.K. Mitrofanov. Polipshennya i segmentaciya slabokontrastnih zobrazen na osnovi metodu nechitkoï intensifikacii //materiali IV Vseukr. nauk.- prakt. konf. 27–29 listopada, 2019. Dnipro, Ukraïna. Perspektivni napryamki suchasnoï elektroniki, informacijnih ta komp' yuternih sistem (MEISS'2019), - S. 126-127.

Received 14.03.2022.

Accepted 16.03.2022.

Pre-processing of the x-ray to increase the sensitivity of visual analysis

In the field of medical imaging, it is fundamental to improve medical images of different physical nature to increase the likelihood of diagnosis based on them. X-rays are one of the oldest techniques used to analyze dense tissue abnormalities. Insufficient quality of X-rays is due to both the physical characteristics of the equipment used and the process of their formation. There are two main approaches to digital image processing - spatial methods, which are based on direct manipulation of the pixels of the original image and frequency conversion methods. These image processing methods consider pixel values as exact constants, while there are objective reasons for the presence of digital uncertainties, which are due to loss of information when displaying objects from three-dimensional (3-D) space, to 2-D projections, uncertainty of the gray level, statistical randomness, etc.

To account for these factors, new methods are currently being developed that are based on the ideas of ambiguity. This approach is a kind of nonlinear transformation that allows you to take into account factors that are ambiguous. Fuzzy methods are based on mapping gray brightness levels to a fuzzy plane using membership transformations. The image is represented as a mass of fuzzy sets relative to the analyzed property with the value of the membership function that varies in the range [0-1].

The aim of this article is to assess the impact on the quality of the bright characteristics of the X-ray image of the results of using a combination of spatial methods of histogram equalization, fuzzy intensification and improvement in the frequency domain. The proposed algorithm provides a redistribution of the brightness of the histogram in the middle range of gray levels,

which corresponds to the best visual (according to Weber - Fechner's law) perception, allows to increase the contrast and resolution of the image. There is a significant effect on the result of improving the image of the parameters of fuzzy intensifications.

Experimental results are given on the example of real images.

Ахметшина Людмила Георгіївна – доктор технічних наук, професор, професорка кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Книш Олександр Вавильович - магістр за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Мітрофанов Станіслав Костянтинович - магістр за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Akhmetshina Lyudmila Georgievna - Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the department of electronic computers, Oles Honchar Dnipro National University.

Knysh Aleksandr Vasylovych - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

Mitrofanov Stanislav Kostyantynovich - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ SiGe ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ТИРИСТОРІВ

Анотація. На силові напівпровідникові прилади (СНП) в наземних умовах діють високі потоки атмосферних нейтронів, що ставить завдання розробки та застосування кремнія із високою радіаційною стійкістю. Для підвищення їх радіаційної стійкості запропоновано застосування ізовалентно легованого германієм (Ge) монокристалічного кремнію (CZ-<Si,Ge>). Проведено моделювання експериментальних даних щодо придатних силових тиристорів загального призначення високовольтного класу типу T122, виготовлених за ідентичною технологією з застосуванням CZ-Si та CZ-<Ge>. Отримані результати для обґрунтованого вибору концентрації Ge. Показано, що при введенні в технологію цих приладів SiGe спостерігається немонотонна зміна частки тиристорів, що піддаються випробуванням на вихід придатних приладів високих (10, 11, 12) класів (величина імпульсної напруги, що повторюється, в закритому стані 1000, 1100 і 1200 В). Концентрація Ge, придатна для виготовлення високовольтних тиристорів, перебуває у інтервалі $2 \cdot 10^{19}$ - $1 \cdot 10^{20}$ см⁻³. Запропоновано виготовлення партії тиристорів T122 12 класу та проведення їх радіаційних випробувань із застосуванням (на першому етапі) γ -опромінення.

Ключові слова: атмосферні нейтрони, радіаційна стійкість, моделювання експериментальних даних, силові високовольтні тиристори T122, ідентична технологія, застосування CZ-Si та CZ-<Si,Ge>.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Природна радіаційна обстановка у різних регіонах світу різна, визначається їх географічним розташуванням (широтою та довготою, півкулею), висотою над рівнем моря та активністю Сонця [1]. Випробування щодо впливу потоків нейтронів зі спектром, подібним до атмосферного, проводяться згідно з міжнародним нормативним документом [2]. Інтегруючи в MathCAD рівняння диференціального потоку нейтронів для наземних умов (рівень моря), наведене в [2, с.56], отримуємо чисельне значення потоку, що використовується як довідкове значення для оцінки радіаційної обстановки, пов'язаної з атмосферними нейтронами у різних точках світу, $\varphi_n \sim 10^{-3}$ н·см⁻²·с⁻¹ [3]. Для того, щоб пояснити відмови СПП логічним є при-

пущення про те, що на обладнання в наземних умовах діють істотно вищі потоки нейтронів. Розрахункова залежність їх диференціального потоку від енергії наведена на рис. 1:

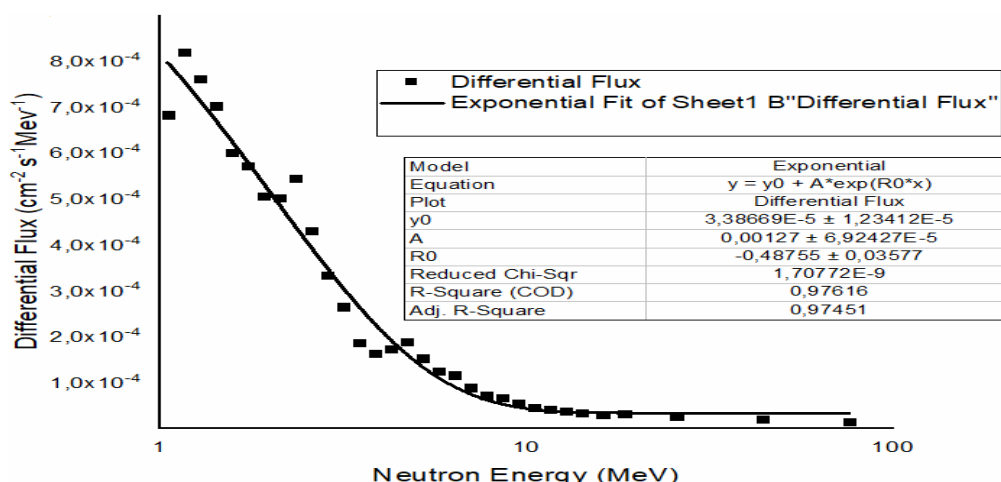


Рисунок 1 - Моделювання в OriginPRO експериментальних даних роботи [2] (розрахунок авторів)

Інтегрування в MathCAD апроксимуючої залежності, наведеної на рис.1, дає щільність потоку нейтронів [нейтрон·см⁻²с⁻¹]:

$$\varphi_n = \int_{1.054}^{1.5 \cdot 10^5} (3,38669 \cdot 10^{-5} + 0,00127 \cdot \exp(-0,48755 \cdot E)) \cdot dE = 5,08$$

За розрахунковий час експлуатації електроприводу у гірській місцевості (згідно [4], 60000 годин при повному навантаженні) його елементна база зазнає експозиційної дози опромінення $\sim 3 \cdot 10^{10}$, а цей показник для вітрогенераторів, що працюють на рівні моря, складе при роботі впродовж 24 годин протягом 20 років $\sim 3 \cdot 10^9$ нейтрон·см⁻², що ставить завдання розробки та застосування кремнія із високою радіаційною стійкістю у наземних умовах для виготовлення силових напівпровідникових приладів (СНП).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Створення кремнію для виготовлення радіаційно-стійких СНП є частиною глобальної проблеми розробки, виготовлення та застосування матеріалів, що зберігають свої фізичні властивості в умовах дії іонізуючих випромінювань [5]. Для підвищення радіаційної стійкості запропоновано застосування ізовалентно легованого германієм (Ge) кремнію. В основу такого підходу закладено "стратегії проектування дефектів" (defect engineering strategies). Для придушення концентрації А-центрів необхідні інженерні стратегії управління дефектоутворенням у матеріалі неоднорідних

активних структур мікроелектронних та дискретних пристроїв [6,7]. Взаємодія ізовалентних домішок, (Sn, Pb C, Ge), що позначаються D, з А-центрами, призводить до формування комплексів DVO по реакції $D + VO \rightarrow DVO$, стабільність яких вища порівняно з дефектами виду VO [8].

Виділення невирішених науково-технічних завдань. Раніше отримані результати, що підтверджують ефективність застосування ізовалентного легування германієм кремнію при радіаційних випробуваннях малопотужних (на струм ~ 100 мА) дискретних приладів [9]. Силові тиристори Т122-25 застосовуються для перетворення та регулювання постійного та змінного струму до 25А частотою до 500 Гц у ланцюгах з напругою 100В – 1600В (1-16 клас) [10]. Тип корпусу – ST (stud thyristor – штирьовий тиристор, різьблення - М6), маса – 11г. В data sheets прямо вказується, що ці прилади не можуть використовуватись у радіаційних полях [11]. Отже, основним практично важливим завданням є підтвердження технологічної ефективності застосування SiGe, тобто можливість використання радіаційно стійкого матеріалу для виготовлення високовольтних СНП.

Метою цієї роботи є моделювання отриманих експериментальних результатів для обґрунтованого вибору концентрації Ge для виготовлення високовольтних тиристорів Т122.

Виклад основного матеріалу. Використовуємо наведені в [12, с.156] дані про вихід придатних силових тиристорів загального призначення типу Т122, виготовлених за ідентичною технологією з застосуванням CZ-Si и CZ-Si<Ge>. При введенні в технологію цих приладів SiGe спостерігається немонотонна зміна частки тиристорів, що піддаються випробуванням на вихід придатних приладів високих (10, 11, 12) класів (величина імпульсної напруги, що повторюється, в закритому стані 1000, 1100 і 1200 В). Моделювання експериментальних результатів, наведених в MathCAD, рис. 2.

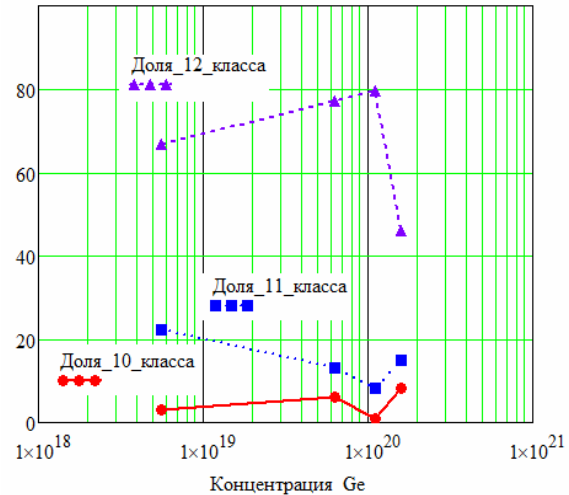
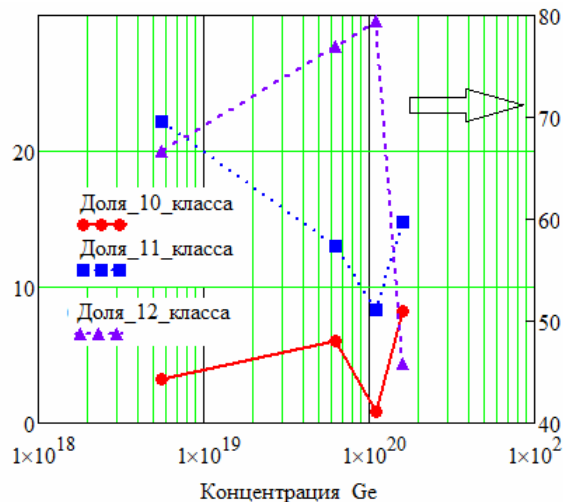
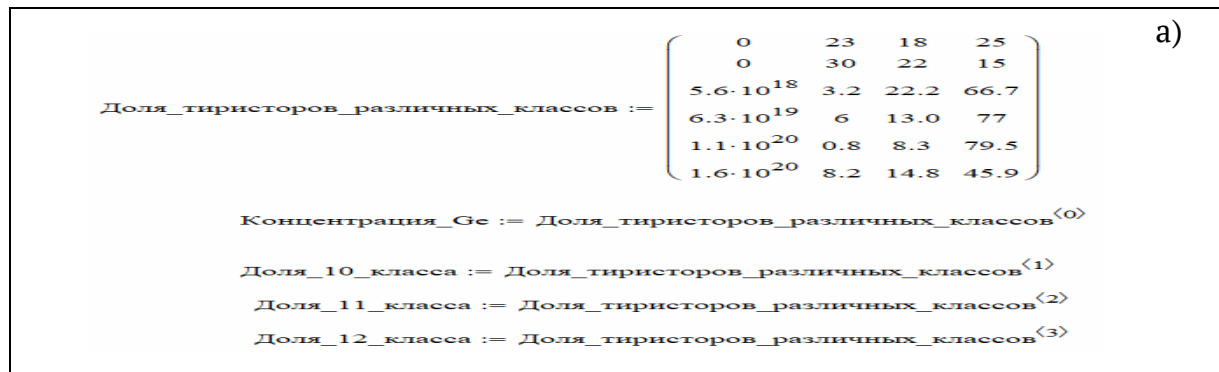


Рисунок 2 – а) – результати вимірювань, % від кількості приладів у вибірці; б, в) збільшення і зниження частки високовольтних (клас 12) приладів Т122 за рахунок частки більш низьковольтних приладів (клас 10, 11), вираженої в % від вибірки при зміні концентрації Ge у вихідних пластинах кремнію

При застосуванні SiGe відбувається збільшення частки високовольтних приладів за рахунок зменшення частки менш високовольтних приладів. Іншими словами, відбувається *нелінійне* покращення якості Т122 у певному діапазоні концентрацій германію (приблизно $5 \cdot 10^{18}$ - $1 \cdot 10^{20}$ см⁻³). Для тиристорів 12 класу спостерігається складна залежність частки високовольтних приладів концентрації Ge, рис. 3.

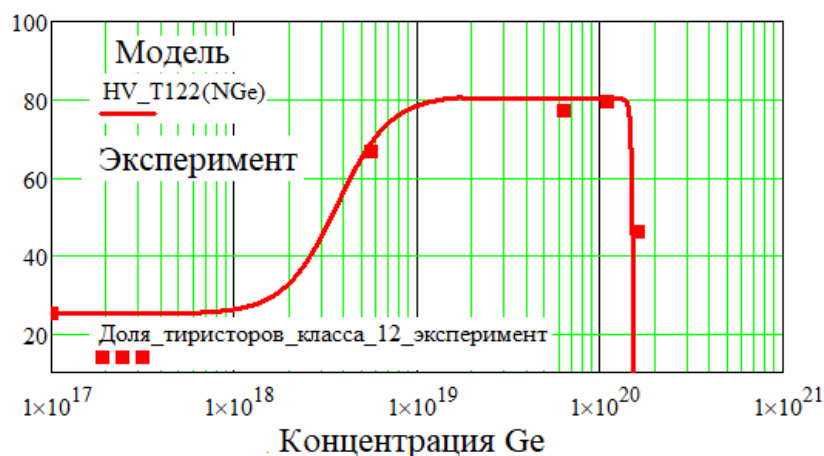
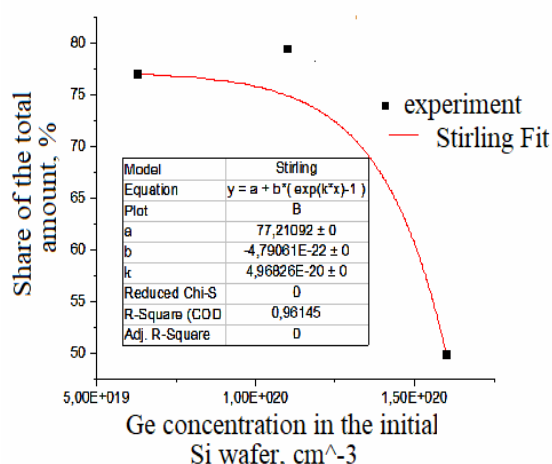
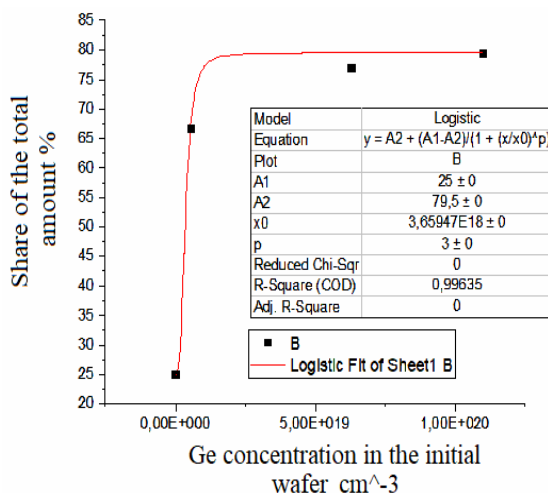


Рисунок 3 – Моделювання залежності частки тиристорів 12 класу при виготовленні тиристорів на кремнієвих пластинах з різним вмістом Ge

Використана така методика моделювання.

1. Експериментальні дані поділені на дві групи. Із застосуванням програми OriginPRO отримуємо залежність частки тиристорів 12 класу від концентрації Ge у вихідній пластині Si для кожної з підвбірок:



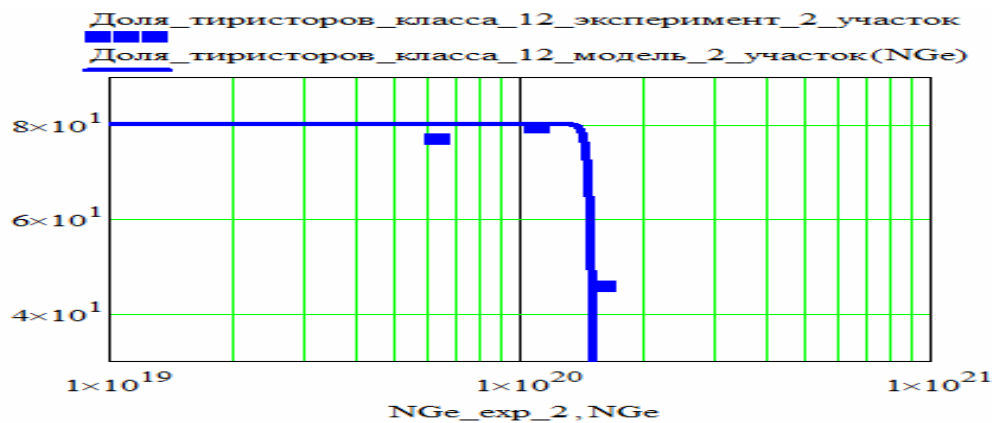
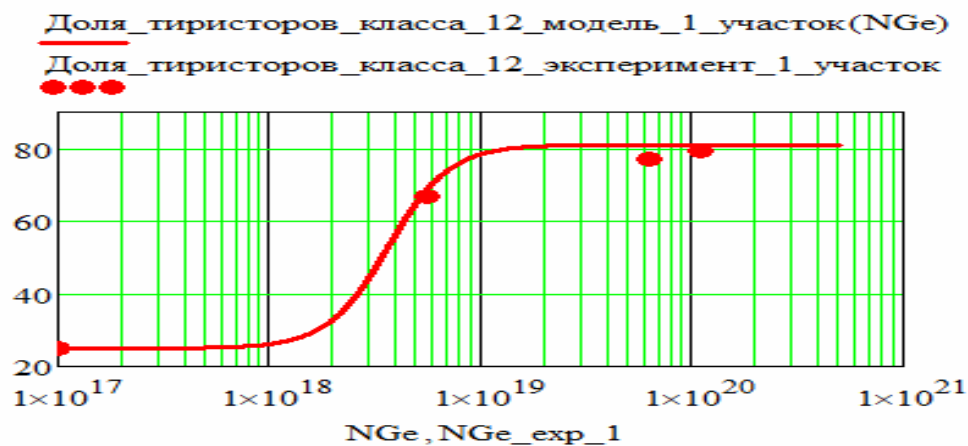
3. Порівнюємо апроксимуючі рівняння та експериментальні значення для кожної з ділянок:

$$A1 := 25 \quad A2 := 81$$

$$N_{Ge} := 0,5 \cdot 10^{15} \dots 5 \cdot 10^{20}$$

$$\text{Доля_тиристоров_класа_12_модель_1_участок}(N_{Ge}) := A2 + \frac{(A1 - A2)}{1 + \left(\frac{N_{Ge}}{3.65947 \times 10^{18}} \right)^3}$$

$$\text{Доля_тиристоров_класа_12_модель_2_участок}(N_{Ge}) := 80.1 + \left[-4.79061 \cdot 10^{-22} \cdot \left(\exp(3.5 \cdot 10^{-19} \cdot N_{Ge}) - 1 \right) \right]$$



4. Об'єднуємо рівняння з використанням простої програми в MathCAD:

$$HV_T122(N_{Ge}) := \begin{cases} \text{Доля_тиристоров_класа_12_модель_1_участок}(N_{Ge}) & \text{if } 10^{17} \leq N_{Ge} \leq 2.1 \cdot 10^{19} \\ \text{Доля_тиристоров_класа_12_модель_2_участок}(N_{Ge}) & \text{if } 1.75 \cdot 10^{19} \leq N_{Ge} \leq 2 \cdot 10^{20} \end{cases}$$

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальшого пошуку. Концентрація Ge, придатна для виготовлення високовольтних тиристорів, перебуває у інтервалі $2 \cdot 10^{19} - 1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, тобто на *лінійній* ділянці залежності. У роботі [13] експериментально показана можливість та механізм підвищення радіаційної стійкості SiGe з концентрацією Ge $\cong 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ обґрунтовано дозволяє. Це припустити можливість досягнення радіаційної стійкості високовольтних силових дискретних тиристорів при їх опроміненні γ -квантами в діапазоні доз до $\cong 3 \cdot 10^6 \text{ мЗв}$, як це вже було нами з'ясовано при опроміненні тиристорів малої потужності [14]. Отже, необхідно виготовлення партії тиристорів T122 12 класу та проведення їх радіаційних випробувань із застосуванням (на першому етапі) γ -опромінення.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.М. Владимиров, Л.В. Границкий, Н.Н. Гурова, А.В. Салагаева, Р.Г. Хлебопрос. Планетарное распределение вторичных нейтронов. Сайт «Современные проблемы». [Электронный ресурс] Режим доступа / <http://modernproblems.org.ru/ecology/14-hlebopros3.html>
2. Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices. JEDEC STANDARD JESD89A (Revision of JESD89, August 2001) OCTOBER 2006 JEDEC SOLID STATE TECHNOLOGY ASSOCIATION.
3. Быткин, С. В. Кремний, легированный германием (SiGe), как материал для изготовления силовых полупроводниковых приборов, устойчивых к действию вторичного космического излучения / С. В. Быткин, Т. В. Критская // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Электрические машины и электромеханическое преобразование энергии. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 102-109. – doi: 10.20998/2409-9295.2019.20.14.
4. H. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg et al. Transitioning to physics-of-failure as a reliability driver in power electronics. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, p.p. 1-18.
5. Efstratia N. Sgourou, Yerasimos Panayiotatos, Ruslan V. Vovk, Alexander Chronos. Toward Defect Engineering Strategies to Optimize Energy and Electronic Materials. Review. Appl. Sci. 2017, 7, 674; doi:10.3390/app7070674
6. A. Chronos, C. A. Londos, E. N. Sgourou, P. Pochet. Point defect engineering strategies to suppress A-center formation in silicon. Appl. Phys. Lett. 99, 241901 (2011); doi: 10.1063/1.3666226. View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3666226>

7. C. A. Londos, E. N. Sgourou, D. Hall, A. Chroneos. Vacancy-oxygen defects in silicon: the impact of isovalent doping. J. Mater. Sci.: Mater Electron (2014) 25:2395–2410 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-014-1947-6>
8. Christopoulos, S-R.G., Parfitt, D., Sgourou, E. N., Londos, C. A., Vovk, R. V., Chroneos, A. (2016) Controlling A-center concentration in silicon through isovalent doping: Mass action analysis. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, volume 27 (5): 4385–4391 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-016-4308-9>
9. S. V. Bytkin, T. V. Kritskaya, S. P. Kobeleva. Statistical analysis of germanium influence on radiation and thermal stability of the n-p-n-p device structures based on CZ-Si <P, Ge> electrophysical properties. Russian Microelectronics, December 2014, Volume 43, Issue 8, pp. 546–551
10. Тиристор силовой Т122-25 – АС Энергия. [Электронный ресурс] / Режим доступа: // <https://asenergi.com/catalog/tiristory-silovye/t122/t122-25.html#more>
11. Т122-20, Т122-25, Т122-32 – Тиристоры. [Электронный ресурс] / Режим доступа: // <https://npp-tp.ru/products/electrical/silovaya-elektronika/tiristoryi/tiristoryi-nizkochastotnyie/tiristoryi-t122-20,-t122-25,-t122-32.html>
12. Критская, Т. В. Перспективные полупроводниковые материалы для использования в силовой электронике / Т. В. Критская, С. В. Быткин // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 1. – С. 148-161. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.21.
13. Быткин С.В., Критская Т.В. Особенности свойств полупроводниковых материалов для использования в силовых полупроводниковых приборах. Материалы международной научной конференции «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ», 24-25 мая 2018. Сумгаитский госуниверситет, г. Сумгаит, Азербайджан. С. 438- 443.
14. Быткин С.В., Критская Т.В., Радин Е.Г., Гончаров В.И., Куницкий Ю.И., Кобелева С.П. Экспериментальное исследование характеристик тиристорov, изготовленных на Si<Ge>, при действии гамма-облучения. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. №3, 2012, стр. 45-48.

REFERENCES

1. V.M. Vladimirov, L.V. Granitsky, N.N. Gurova, A.V. Salagaeva, R.G. Khlebopros. Planetary distribution of secondary neutrons. Site "Modern problems". [Electronic resource] Access mode /<http://modernproblems.org.ru/ecology/14-hlebopros3.html>

2. Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices. JEDEC STANDARD JESD89A (Revision of JESD89, August 2001) OCTOBER 2006 JEDEC SOLID STATE TECHNOLOGY ASSOCIATION.
3. Bytkin, S., Kritskaya, T. Germanium-doped silicon (SiGe) as a material for the manufacture of power semiconductor devices resistant to secondary cosmic radiation. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 20 (1345), 102–109, doi:10.20998/2409-9295.2019.20.14.
4. H. Wang, M. Liserre, F. Blaabjerg et al. Transitioning to physics-of-failure as a reliability driver in power electronics. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014, p.p. 1-18.
5. Efstratia N. Sgourou, Yerasimos Panayiotatos, Ruslan V. Vovk, Alexander Chronos. Toward Defect Engineering Strategies to Optimize Energy and Electronic Materials. Review. Appl. Sci. 2017, 7, 674; doi:10.3390/app7070674
6. A. Chronos, C. A. Londos, E. N. Sgourou, P. Pochet. Point defect engineering strategies to suppress A-center formation in silicon. Appl. Phys. Lett. 99, 241901 (2011); doi: 10.1063/1.3666226. View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3666226>
7. C. A. Londos, E. N. Sgourou, D. Hall, A. Chronos. Vacancy-oxygen defects in silicon: the impact of isovalent doping. J. Mater. Sci.: Mater Electron (2014) 25:2395–2410 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-014-1947-6>
8. Christopoulos, S-R.G., Parfitt, D., Sgourou, E. N., Londos, C. A., Vovk, R. V., Chronos, A. (2016) Controlling A-center concentration in silicon through isovalent doping: Mass action analysis. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, volume 27 (5): 4385-4391 <http://dx.doi.org/10.1007/s10854-016-4308-9>
9. S. V. Bytkin, T. V. Kritskaya, S. P. Kobeleva. Statistical analysis of germanium influence on radiation and thermal stability of the n-p-n-p device structures based on CZ-Si <P, Ge> electrophysical properties. Russian Microelectronics, December 2014, Volume 43, Issue 8, pp. 546–551
10. Power Thyristor T122-25. [Electronic resource] Access mode: <https://asenergi.com/catalog/tiristory-silovye/t122/t122-25.html#more>
11. T122-20, T122-25, T122-32 – Thyristors. [Electronic resource] Access mode: <https://npp-tp.ru/products/electrical/silovaya-elektronika/tiristoryi/tiristoryi-nizkochastotnyie/tiristoryi-t122-20,-t122-25,-t122-32.html>
12. Kritskaya, T. V., Bytkin, S. V. Perspective semiconductor materials for the using in the power electronics. Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern

technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 26(1302), 1, 148-161, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.21.

13. Bytkin S.V., Kritskaya T.V. Features of the properties of semiconductor materials for use in power semiconductor devices. Materials of the international scientific conference "TOPICAL ISSUES OF APPLIED PHYSICS AND ENERGY", May 24-25, 2018. Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan. Pp. 438-443.

14. Bytkin S.V., Kritskaya T.V., Radin E.G., Goncharov V.I., Kunitsky Yu.I., Kobeleva S.P. Experimental study of the characteristics of thyristors fabricated on Si<Ge> under the action of gamma irradiation. Proceedings of Universities. Materials of electronic engineering. No. 3, 2012, pp. 45-48.

Received 15.03.2022.

Accepted 17.03.2022.

Simulation of the SiGe use efficiency for the production of high-voltage thyristors

Power semiconductor devices often subjected to appreciable terrestrial atmospheric neutron flows. For the improvement of their radiation hardness, the use of silicon doped with Ge (SiGe) was proposed. The stability of last is much higher in comparison with convenient type silicon. Earlier received results confirmed effectiveness of isovalent doping of silicon with germanium at radiation tests of low power (current approx. 100 mA) discrete devices. Power thyristors T122-25 are used for the transformation and regulation of AC and DC current up to 25A, frequency up to 500 Hz in the circuits with voltage 100 – 1600V (1-16 class). In the data sheets directly indicated that these devices are not suitable for operating in the conditions of ionizing radiation. Therefore, the main practically important mission of the article was the confirmation the technological efficiency of SiGe use, or, in other words, possibility of radiation hard material use for high voltage power devices technology. The purpose of the present work was the modeling of the experimental findings for the informed choice of Ge concentration for manufacturing of high voltage thyristors T122. The data concern the workable general-purpose power thyristors T122 type yield, manufactured in accordance with the identical technology, based on CZ-Si u CZ-Si<Ge>. At SiGe implementation in the technology of power semiconductors was observed no monotonic change of the thyristors gain share for devices of high (10, 11, 12) ranges (classes), the value of pulse recurring voltage in off-state is 1000, 1100 and 1200 V. Simulation of the experimental results was performed in MathCAD. The concentration of Ge, suitable for the manufacture of high-voltage thyristors, is in the range $2 \cdot 10^{19}$ - $1 \cdot 10^{20}$ cm⁻³, i.e. in the linear region of dependence. Previously, the authors have experimentally shown the possibility and mechanism of increasing the radiation resistance of SiGe with a concentration of $Ge \cong 5 \cdot 10^{19}$ cm⁻³. It is allowed to admit the possibility of reaching the radiation resistance of high-voltage power discrete thyristors when tested with γ -quanta in the dose range up to $\cong 3 \cdot 10^6$ mSv.

Биткін Сергій Віталійович - к.т.н., доцент кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету.

Критська Тетяна Володимирівна – д.т.н., професор, завідувачка кафедри мікроелектронних та електронних інформаційних систем Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету.

Bitkin Sergiy Vitaliovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate of the Department of Microelectronic and Electronic Information Systems of the Engineering Scientific and Scientific Institute named after A.I. Yu.M. Potebny Zaporozhye National University.

Kritska Tetyana Vladimirovna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Microelectronic and Electronic Information Systems of the Engineering Scientific Institute named after. Yu.M. Potebny Zaporozhye National University.

О.М. Гречаний, Т.О. Васильченко, А.О.Власов,
С.В. Федоренко, Д.А. Синявський, Є.С. Цегельний
**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ» В ТЕХНІЧНІЙ
ДІАГНОСТИЦІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Анотація. Вказано переваги систем змащування «масло-повітря». Встановлено вплив залізовмісних домішок на роботу системи змащення. Проаналізовано методи теорії розпізнавання для визначення граничного значення залізовмісних присадок у робочій рідині системи змащення. Наведено приклад практичного застосування використання методу «мінімального ризику» для визначення допустимого вмісту залізної стружки в робочій рідині системи змащення «масло-повітря».

Ключові слова: прокатний стан, система змащування, технічна діагностика, метод «мінімального ризику»

Постановка проблеми

Складні умови роботи металургійного обладнання, обумовлені динамічними навантаженнями, вимагають особливої уваги при конструюванні їхніх вузлів у сфері надійності та безвідмовної роботи. Окрім забезпечення надійності під час експлуатації складові частини технологічного обладнання мають допускати легке регулювання, а у випадку аварійних поломок, дозволяти виконувати швидко заміну або ремонт окремих вузлів або деталей [1].

Основні виробничі показники прокатного стану, такі як продуктивність та енергоефективність, а також його працездатність в цілому, здебільше залежать від того, наскільки ефективно та якісно працюють всі його виконавчі механізми. В свою чергу цей взаємозв'язок викликає необхідність розробки механізмів приводної частини прокатної кліти таким чином, щоб її конструкція відповідала всім експлуатаційним та сучасним технологічним вимогам.

Працездатність клітей стану «1680» в значній мірі залежить від того, наскільки ефективно працює обладнання приводу. Аналіз роботи прокатної лінії в цілому показав, що існуючий рівень динамічних навантажень, характерний для всіх широкоштабових станів, є однією з причин прискорення зношення вузлів та поломок елементів обладнання [2].

З метою підвищення надійності та довговічності шпиндельного вузла привода прокатної кліти стана гарячої прокатки «1680», пропонується перехід з систем змащення бронзових вкладишів та вальниць механізму врівноваження типу «масляний туман» на системи типу – «масло-повітря».

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Бронзові вкладиші універсальних шпинделів дефіцитні, дорого коштують, але при цьому мають незначний термін експлуатації. На основі передових наукових розробок, можлива заміна їх на високоякісні вкладиші з армованих полімерів [3], що в комплексі з модернізацією системи змащення дозволяє отримати збільшення терміну експлуатації вузла тертя більш ніж в два рази. Також підвищується стійкість до ударних динамічних навантажень, з'являється властивість розподілення навантаження та зменшуються шумові ефекти від їхньої роботи [3].

Принцип змащування «масло-повітря» має беззаперечні переваги за змащенням елементів, розподілом витрати, і забезпечує об'ємне надходження масла при інжекції повітря на кожну вальницю обладнання, гарантуючи в кожній точці змащування точний обсяг, незалежно від протитиску вальниці, атмосферного тиску, температури і в'язкості масла [4].

В таких системах мастильний матеріал подається до поверхонь у вигляді струменя аерозолі, що формується змішувачами, встановленими у точках змащення, до яких рідкий мастильний матеріал і повітря підводяться окремо. Такі системи створені на заміну систем масляного туману, що не завжди є екологічними. Мастильні системи типу «масло-повітря» застосовують практично для будь-яких типів поверхонь тертя, але найефективнішими вони є при змащенні пар тертя, що працюють: за високих температур (прокатні стани, рольганги печей тощо); з високими лінійними або коловими швидкостями; за наявності впливу води, пилу чи шкідливих газів [5].

Прокатне виробництво пов'язане з виникненням дрібних пиловидних часточок окалини, яка являється забруднювачем робочої рідини. Як правило ця проблема вирішується встановлення різного роду фільтрів, але з часом по ряду факторів всеодно робоча рідина забруднюється, тому важливо знати критичний вплив забруднюючих, твердих часточок на роботоспроможність всієї гідро-системи в цілому.

Забруднення масла частками органічного й неорганічного походження розмірами більш 200 мкм не допускається [6].

У процесі зберігання й експлуатації контролюють стан робочої рідини й вживають заходів для підвищення її довговічності. Регулярно перевіряють в'язкість, наявність механічних домішок, води й нерозчиненого повітря [7].

При візуальних методах про чистоту робочої рідини судять по кількості опадів на фільтрах тонкого очищення. Найбільш перспективними є гранулометричні методи, які засновані на підрахунку числа часток, укладених у заданий розмірний інтервал. До них відносяться мікроскопічні (використовується мікроскоп) і мікрофотографічні методи. Їхніми недоліками є необхідність відбору проб рідини з агрегатів, трудомісткість і більший ступінь суб'єктивності [7].

З метою оптимізації прийняття рішень при проєктуванні нових вузлів та деталей металургійного обладнання вектор прийняття достовірних конструкторських рішень все більше зміщується в бік математичного моделювання виробничих процесів та ситуацій виникаючих при виконанні технологічних операцій [8].

За даними моделювання можна перевірити поведінку механізму в ідеальних та екстремальних умовах його роботи. [9].

Мета дослідження

Визначення допустимого значення вмісту продуктів зносу у вигляді металевої стружки можна використовувати загальну теорію розпізнавання, яка складає важливий розділ технічної кібернетики і займається розпізнаванням образів будь-якої природи і характеру. Алгоритми розпізнавання частково ґрунтуються на діагностичних моделях, які встановлюють зв'язок між станом технічної системи і діагностичними сигналами, що поступають від цих систем.

Найчастіше за все застосовують методи Байеса, для якого потрібен великий об'єм попередньої інформації з складанням діагностичної матриці. Це є основним недоліком методу, так як вимагається заздалегідь провести статистичну обробку даних експлуатації, а, в окремих випадках, поставити і провести спеціальні дослідження, імітуючі несправності об'єктів, що вивчаються. Крім того, цей метод характерний і тим, що відбувається "пригнічення", тобто – ігнорування, рідкісних діагнозів [10].

Інші методи відрізняються від методу Байеса правилами ухвалення рішень. Тут вирішальне правило вибирається виходячи з умов оптимальності. Зокрема, що стосується методу «мінімального ризику», оптимальним є рішення прийняте з умови мінімуму ризику втрати роботоспроможності об'єктом.

Для систем змащення «масло-повітря» не розроблені алгоритми розпізнавання працездатності системи при кількісному забрудненні робочої рідини, тому робота в даному напрямку є актуальною й перспективною.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідальним моментом процесу розпізнавання є використання відповідних правил ухвалення рішень на основі статистичних та інформаційних методів.

При першому методі мають інформацію про закони зміни параметрів та їх статистична характеристика, отримана в результаті обробки наслідків аварійних відмов. Принцип вибору ознак стану заключається в аналізі втрати інформації, пов'язаної з неповнотою їх контролю, а склад контрольних ознак складають таким чином, щоб втрата інформації після контролю не перевищувала означеного рівня. Якщо значимість втрат по кожній з ознак однакова, то можна встановити мінімальний набір ознак, що забезпечують задану імовірність нормальної роботи досліджуемого об'єкта [10].

При інформаційному методі контроль станів об'єкту розглядається як проведення дослідів по заданому алгоритму, в результаті чого невизначеність в знаннях про дійсний стан досліджуемого об'єкта замінюють інформацією [10].

Метод «мінімальних ризиків» відноситься до статистичних методів та добре описується роботою [5].

При одному діагностичному параметрі x (наприклад, вібрація, температура, вміст продуктів зносу в робочій рідині або мастилi і т.д.) задача полягає в тому, що вибирають значення X_0 параметра X . При $X > X_0$ приймають рішення про зняття обстежуваного об'єкту з експлуатації, а при $X < X_0$ допускають його подальшу роботу.

При такій умові розділення проводять на два класи (диференціальна діагностика або дихотомія): D_1 - справний стан об'єкту, D_2 - несправний стан (наявність дефекту) (рис.1) [5].

По отриманому значенню X_0 визначають вірогідність помилкової тривоги $P(H_{21})$ і вірогідність пропуску дефекта $P(H_{12})$.

Ймовірність помилкової тривоги:

$$P(H_{21}) = P_1 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{X}{D_1}\right) dx, \quad (1)$$

де $P_1 = P(D_1)$ – апіорна вірогідність діагнозу D_1 (прийнято вважати відомою на підставі попередніх статистичних даних).

Ймовірність пропуску дефекту:

$$P(H_{12}) = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{x}{D_2}\right) dx, \quad (2)$$

Загальна імовірність ризику буде рівна:

$$R = C_{21} \cdot P(H_{12}) + C_{12} \cdot P(H_{21}), \quad (3)$$

де C_{12} – ціна поділу пропуску;

C_{21} – ціна поділу помилкової тривоги

За отриманими значеннями будують графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта рис. 1.

Перехрещення графіків $f(x/D_1)$ та $f(x/D_2)$ вказує на граничний вміст домішок при досягненню якого варто зупинити об'єкт для виконання профілактичних або ремонтних робіт.

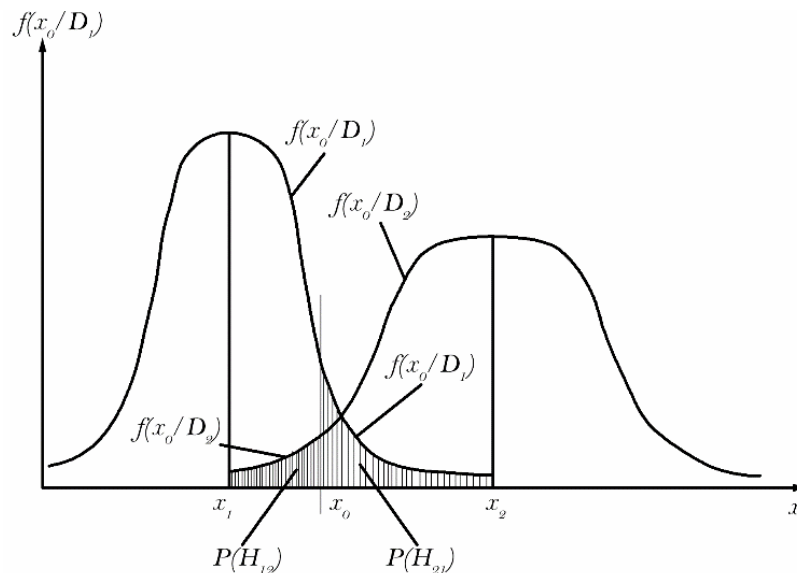


Рисунок 1 – Графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту домішок в робочій рідині для справного D_1 і не справного D_2 станів об'єкта

При зміщенні акцентів в бік стратегії обслуговування за технічним станом об'єкта стає більш актуальним діагностування технічного стану, яке вирішує питання встановлення дат міжінспекційного сервісу. Таким чином зростає актуальність не так графіка ремонтів обладнання, як графіків його огляду, інспекцій та контролю технічного стану [11].

Розглянемо випадок встановлення роботспроможного стану системи змащування «масло-повітря» методом «мінімального ризику» для бронзових

вкладишів універсального шпинделя прокатного стану 1680. Так як закон, якому підпорядковується вихід з ладу вкладишів передбачається нормальним [12], то формули (1) та (2) приймуть вид:

$$P(H_{21}) = P_1 \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad (4)$$

$$P(H_{12}) = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (5)$$

де σ_1, σ_2 – середньоквадратичне відхилення;

x_0 – граничне значення діагностичного параметра, що забезпечує мінімум середнього ризику.

Для спрощення (4) та (5) можна перетворити:

$$P(H_{21}) = P_1 \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \sum_{x_1=x_0}^{x_1=n} e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{2\sigma_1^2}}, \quad (6)$$

$$P(H_{12}) = P_2 \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \sum_{x_1=-n}^{x_1=x_0} e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}}, \quad (7)$$

де $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ – середні значення діагностичних параметрів x_1, x_2 , відповідно для справних та несправних станів об'єкта діагностування.

Приймаючи при цьому, що для $P(H_{21})$ та $P(H_{12})$ відповідно:

$$x_1 = x_0; x_2 = x_1 + \Delta x; \dots x_n = x_{n-1} + \Delta x \quad (8)$$

$$x_1 = x_0; x_2 = x_1 - \Delta x; \dots x_n = x_{n-1} - \Delta x \quad (9)$$

де Δx – інтервал варіювання.

Згідно [13] встановлено 19 класів чистоти рідини, обумовленої гранулометричним складом, тобто числом частинок різного розміру, що містяться в 100 см³ проби рідини. Для приводів загальнопромислового призначення при тиску до 15 МПа [13] застосовують рідини 8-7 класу, що орієнтовно дорівнює 9-10 г залізовмісних домішок на 100 см³, та відповідає 13/11-12/10 класу чистоти встановленим ISO [14], яке регламентує не тільки розмір забруднюючих частинок, а й їхню кількість [15].

Таким чином можна достовірно прийняти, що при справному стані середнє значення домішок складає $\bar{x}_1 = 8$ (8 г заліза на 100 см³ масла) при середньоквадратичному відхиленні $\sigma_1 = 1,5$. При наявності дефекту на елементах, що зазнають тертя (несправний стан) [12], ці значення дорівнюють $\bar{x}_2 = 18$, $\sigma_2 = 3,2$. Приймавши $C_{12} = 25$ та $C_{21} = 1$, розраховуємо ймовірність помилкової тривоги, ймовірність пропуску дефекту та будуюмо графічні образи ймовірності помил-

кової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту заліза в робочій рідині для справного D_1 і не справного D_2 станів об'єкта рис. 2.

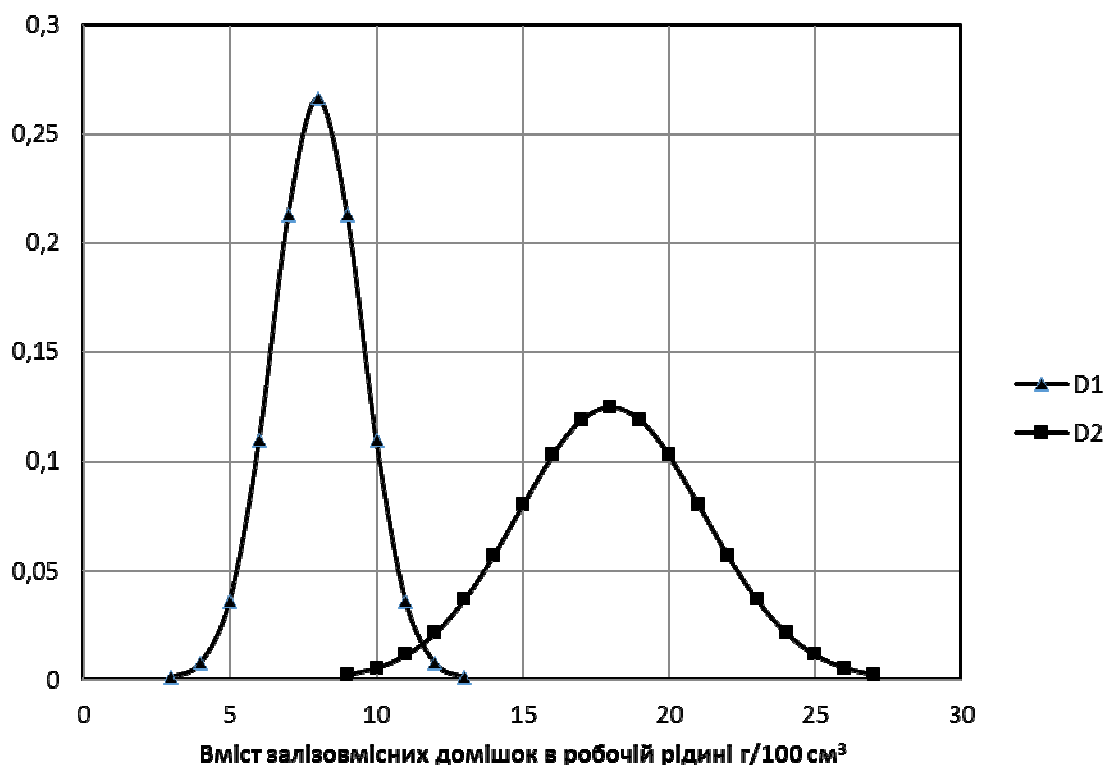


Рисунок 2 – Графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту залізовмісних домішок в робочій рідині

На підставі цих результатів можна зробити висновки, що прийняті вище рішення вірні, оскільки значення $P(H_{21}) = 0,0089$ і $P(H_{12}) = 0,0154$ вкрай малі і, отже, такі чинники, як помилкова тривога і пропуск дефекту, не допущені.

Висновки. Виконані розрахунки дозволяють доволі точно встановлювати граничні величини залізовмісних домішок в робочій рідині системи змащення типу «масло-повітря» і вказують на те, що при перевищенні граничного значення $x_0 = 11$ г, тобто наявності вмісту в робочій рідині залізовмісних домішок більш, ніж 11 на 100 см^3 , об'єкт слід зупинити на огляд і провести очищення робочої рідини фільтруванням.

Таким чином підтверджено можливість визначення допустимого значення вмісту продуктів зносу у вигляді металевої стружки у системах змащування типу «масло-повітря» за допомогою загальної теорії розпізнавання, а саме методом «мінімальних ризиків», що спрощує сам процес встановлення дати її очищення методом фільтрації, не обтяжуючи його особливо громіздкими формулами та розрахунками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану. *Металургія*. 2017. № 2. С. 126–130.
2. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680. Монография. / [В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники та ін.]. – Днепропетровск: ИМА–пресс, 2011. – 184 с.
3. Крот П. В., Нижник Н. В. Проблемы разработки износостойких демпфирующих вкладышей для шпинделей листопрокатных станов. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2006. № 13. С. 298–306.
4. Смазка «воздух - масло» для сектора стали и алюминия. www.dropsa.com. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401> (дата звернення: 16.02.2022).
5. Учасники проектів Вікімедіа. Мастильна система – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мастильна_система (дата звернення: 10.05.2021).
6. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / [В. А. Федорец, М. Н. Педченко, А.Ф. Пичко та ін.]. – К.:Вища шк. Головное издательство, 1987. – 375 с.
7. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов. / Т. А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
8. Вплив параметрів технологічного процесу на коефіцієнт динамічності обладнання / О. М. Гречаний та ін. *Системні технології*. 2021. № 3. С. 3–12. doi: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-134-2021-01>.
9. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 183 с.
10. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография / А. Я. Жук, Г. П. Малышев, Н. К. Желябина, О. М. Клевцов. – Запорожье: ЗГИА, 2008. – 500 с.
11. Белодеденко С. В., Гречаний А. Н., Ибрагимов М. С. Модели «отложенного ремонта» для обслуживания механических систем. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2017. Т. 43, № 3. С. 6–13.
12. Малышев Г. П., Гречаний А. Н. Исследование надежности вкладышей шпиндельных устройств стана 1680 ЦХП-1. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 5. С. 118–122.
13. ГОСТ 17216-71. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЧИСТОТА. Классы чистоты жидкостей. Чинний від 1973-07-01. Вид. офіц. М. : Издательство стандартов, 1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005434>.

14. ISO/FDIS 4406:2017(E). Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. Replaces ISO/TC 131/SC 6 ; effective from 2017-04-27. Official edition. 2017. 6 p.
15. Унікальні системи мембранної фільтрації води. URL: <http://www.eprom.net.ua/doc/masla/Pall%20Триботехническое%20значение%20фільтрації.pdf> (дата звернення: 17.02.2022).

REFERENCE

1. Hrechanyi O. M. Substantiation of the choice of technical parameters of the guillotine shears of the rolling mill. Metallurgy. 2017. No. 2. S. 126-130.
2. Dynamic processes in the stands of the broadband camp 1680. Monograph. / [B. V. Verenev, VI Bolshakov, A. Yu. Putnoki and others]. - Dnepropetrovsk: IMA-press, 2011. - 184 p.
3. Krot P. V., Nizhnik N. V. Problems of development of wear-resistant damping liners for sheet-rolling mill spindles. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2006. No. 13. P. 298–306.
4. Air-oil lubrication for the steel and aluminum sectors. www.dropsa.com. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401> (access date: 16.02.2022).
5. Contributors to Wikimedia projects. Automatic lubrication system - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_lubrication_system (access date: 10.05.2021).
6. Hydraulic drives and hydropneumatics of machine tools / [V. A. Fedorets, M. N. Pedchenko, A. F. Pichko et al.]. - K.: Vishcha school. Head publishing house, 1987. - 375 p.
7. Syritsyn TA Operation and reliability of hydraulic and pneumatic drives: A textbook for university students. / TA Syritsyn. - M.: Mechanical engineering, 1990. - 248 p.
8. Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor / O. Hrechanyi et al. System technologies. 2021. Vol. 3, no. 134. P. 3–12. doi: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-134-2021-01>.
9. Research of dynamics, strength and manufacturability of mechanical systems: monograph / LM Mamaev, OD Romanyuk, OV Nikulin and others. - Kamyanske: DSTU, 2017. - 183 p.
10. Technical diagnostics. Monitoring and forecasting. Monograph / A. Ya. Zhuk, G.P. Malyshev, N.K. Zhelyabina, O.M. Klevtsov. - Zaporozhye: ZGIA, 2008. - 500 p.

11. Belodedenko S.V., Hrechanyi O.M., Ibragimov M..S Models of "delayed repair" for maintenance of mechanical systems. Bulletin of railway transport certification. 2017. T. 43, № 3. P. 6–13.
12. Malyshev G. P., Hrechanyi O.M. Reliability study of inserts for spindle devices of mill 1680 TsKhP-1. Metallurgical and mining industry. 2016. No. 5. P. 118–122.
13. GOST 17216-71. INDUSTRIAL PURITY. Liquid purity classes. Chinniy vid 1973-07-01. View. official M. : Publishing house of standards, 1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005434>.
14. ISO/FDIS 4406:2017(E). Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles. Replaces ISO/TC 131/SC 6 ; effective from 2017-04-27. Official edition. 2017. 6 p.
15. Unique membrane water filtration systems. URL: <http://www.eprom.net.ua/doc/masla/Pall%20Триботехническое%20значение%20филтрации.pdf> (access date: 17.02.2022).

Received 14.03.2022.

Accepted 17.03.2022.

Using the "minimum risk" method in the technical diagnosis of metallurgical equipment

The difficult operating conditions of metallurgical equipment due to dynamic loads require special attention when designing components in the field of reliability and fail-free operation.

In order to increase the reliability and durability of the spindle drive unit of the rolling stand of the hot rolling mill "1680", it is proposed to switch from "oil mist" type lubrication systems to "oil-air" type systems for bronze liners and bearings of the balancing mechanism.

The oil-air lubrication principle has undeniable advantages in terms of component lubrication, flow distribution, and provides a volumetric flow of oil by injecting air into each bearing of the equipment, guaranteeing an accurate volume at each lubrication point, regardless of bearing back pressure, atmospheric pressure, temperature and oil viscosity.

In order to optimize decision-making when designing new components and parts of metallurgical equipment, the vector of making reliable design decisions is increasingly shifting towards mathematical modeling of production processes and situations that arise during the performance of technological operations.

It has been established that in order to determine the permissible value of the content of wear products in the form of metal shavings, one can use the general theory of recognition, which is an important section of technical cybernetics and deals with the recognition of images of any nature, namely, the "minimal risk" method. Recognition algorithms are partly based on diagnostic models that establish a connection between the state of a technical system and diagnostic signals coming from these systems.

The performed calculations make it possible to accurately establish the limiting values of iron-containing impurities in the working fluid of the "oil-air" lubrication system and indicate that if the limit value $x_0 = 11$ is exceeded, that is, if the content of iron-containing impurities in

the working fluid is more than 11 g per 100 cm³, the object should be stopped for inspection and the working fluid should be cleaned by filtration.

The possibility of determining the permissible value of the content of wear products in the form of metal shavings in "oil-air" lubrication systems using the general theory of recognition, namely the "minimal risks" method, which simplifies the process of setting the date of its cleaning by filtration, without burdening it with especially cumbersome formulas and calculations.

Гречаний Олексій Миколайович - доктор філософії (PhD), ст. викладач, кафедра металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Васильченко Тетяна Олександрівна - к.т.н., доцент, доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Власов Андрій Олександрович - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Федоренко Степан Володимирович - магістр кафедри обробки металів тиском, Запорізький національний університет.

Синявський Дмитро Анатолійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Цегельний Євгеній Сергійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Hrechanyi Oleksii - PhD, lecturer, Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vasilchenko Tatiana - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vlasov Andrii - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Fedorenko Stepan - magister Departament of Metal Forming Processing Zaporizhzhia National University.

Syniavskyi Dmytro - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

Tsehelnii Yevhenii - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

**РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
З САМОНАВЧАННЯМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ
ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ**

Анотація. В роботі запропоновано принцип інтегрування система підтримки прийняття рішень у металургійне виробництво з мінімальним втручанням у процес, що полягає у прогнозуванні перебігу процесу з видачею рекомендації щодо впливу на нього задля оптимізації зовнішнього критерію ефективності. Запропонована система спирається на самонавчання та одержання знань із аналізу дій людини.

Ключові слова: металургія, інформаційні системи, керування, оптимізація, самонавчання, інтеграція, підтримка прийняття рішень

Постановка проблеми. У сучасних умовах існування виробництва в Україні одним із основних завдань є підвищення ефективності роботи застарілого виробництва. Це завдання стає особливо актуальним, коли йдеться про важку промисловість і про робочі місця для сотень громадян країни. В умовах економічної, політичної та соціальної нестабільності неможливо розраховувати на модифікацію великих промислових комплексів, адекватну сучасним вимогам. Але, враховуючи їхню економічну та стратегічну цінність, необхідним є інтегрування сучасних методів підвищення ефективності в застарілі технологічні процеси. В якості практичного прикладу такого інтегрування авторами пропонується застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) з самонавчанням в управлінні процесом виробництва металу конвертерним способом.

Киснево-конверторна плавка є складним та динамічним фізико-хімічним процесом, який відбувається при високих температурах, при цьому має значну чутливість до впливу зовнішніх перешкод. Метою плавки є отримання заданої маси рідкої сталі з необхідним хімічним складом та температурою за мінімальних витрат матеріально-сировинних, паливно-енергетичних та трудових ресурсів. Водночас отримання заданого хімічного складу та механічних характеристик готової сталі пов'язане з перебігом складних фізико-хімічних процесів,

більшість з яких складно керовані, або ж некеровані взагалі. При цьому необхідно враховувати можливі обмеження на керуючий вплив у технологічному процесі [1].

Всі фізико-хімічні процеси, пов'язані з отриманням заданого вмісту домішок у готовій рідкій сталі, які піддаються управлінню, поділяються на дві групи [2]:

- 1) рафінування металу;
- 2) розкислення та легування металу.

Схематично етапи виробництва стали представлені на рисунку 1.

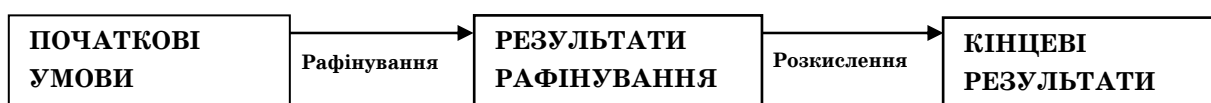


Рисунок 1 – Спрощена схема процесу виробництва сталі
киснево-конвертерним способом

Рафінування металу проводиться в сталеплавильному агрегаті за рахунок окислення домішок заліза шляхом дуття киснем та з використанням твердих окислювачів. При цьому виділяють три паралельні керовані процеси: декарбонізація, дефосфорація та десульфатація. Крім того, основна мета в управлінні плавкою полягає у забезпеченні синхронного перебігу процесів окисленого рафінування та нагрівання металу – обидва ці процеси повинні закінчуватися одночасно [3].

Процес декарбонізації металу регулюється зміною подачі кисню, що подається у ванну. При цьому реакція окиснення вуглецю може бути як явно екзотермічною, якщо вона протікає за рахунок газоподібного кисню, так і різко ендотермічною, якщо вона протікає за рахунок кисню твердих окисників. Цей факт використовується для регулювання температури ванни при синхронізації процесів декарбонізації та нагрівання ванни.

Процеси дефосфорації та десульфатації здійснюються регулюванням шлакового режиму плавки, тобто зміною хімічного складу та кількості шлаку. Хімічний склад та кількість шлаку залежать, в основному, від кількості кремнію в чавуні та від витрати шлакоутворюючих матеріалів. Тому розрахунки, пов'язані з управлінням шлаковим режимом (десульфатація та дефосфорація) зводяться до визначення кількості шлаку та відповідної витрати флюсів [3].

Розкислення - легування металу є обов'язковим та заключним етапом

плавки, що забезпечує отримання заданого вмісту домішок у готовій сталі. Тому цей етап є дуже відповідальним, оскільки визначає якість вилитого та готового металу [4].

Враховуючи поточний стан конвертерного виробництва та вимірювального обладнання на підприємствах України, можна говорити, що процес плавки відбувається на базі складної динамічної недетермінованої системи. Ускладнюють управління процесом велика кількість параметрів, неможливість точної ідентифікації стану системи у кожний момент часу, а також складність прогнозування вимог до системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередній аналіз [1] показав, що в умовах даного виробництва підвищення ефективності роботи конвертерного виробництва можна досягти за рахунок:

- зниження витрат матеріально-сировинних ресурсів, таких як залізовмісні добавки, розкислювачі, неметалеві включення до сталі;
- зниження часу плавки, особливо часу на продування;
- зниження браку та підвищення якості продукції.

Поточний стан виробництва дозволяє говорити про недоцільність запровадження додаткового обладнання, що підвищує ефективність роботи, у зв'язку з неприпустимою вартістю такого застосування [5]. Тому як спосіб підвищення ефективності актуальним бачиться вплив на доступні параметри системи з мінімальним фізичним впливом на процес плавки. Також актуальним вбачається виключення із аналізованого виробничого процесу участі людини-оператора та зменшення впливу на процес людського фактора. Відтак, задача підвищення ефективності полягає у підвищенні точності розрахунку керуючих параметрів системи за рахунок прогнозування поведінки об'єкта за допомогою системи підтримки прийняття рішення та ефективної взаємодії машини з людиною.

Система підтримки прийняття рішення – це комп'ютерна автоматизована система, метою якої є допомога особам, які приймають рішення у складних умовах, забезпечення повного та об'єктивного аналізу стану предметної області та аспектів діяльності оператора [6]. Сучасні СППР є системами, максимально пристосованими до вирішення завдань повсякденної управлінської діяльності та забезпечують всією повнотою інформації осіб, що приймають рішення (ОПР).

За допомогою сучасних СППР може не лише здійснюватися вибір рішення, як однієї з альтернатив на множині, а і розв'язання певних неструктурованих або слабоструктурованих задач, зокрема і задач нечіткої багатокритеріальної

оптимізації. Така система, зазвичай, є результатом мультидисциплінарного дослідження, куди входять теорії баз даних, штучного інтелекту, рекомендаційних систем, методів імітаційного моделювання, а також самонавчання систем у процесі роботи [7].

Складність даного об'єкта керування, постійні зміни, пов'язані зі зносом обладнання, стохастична природа процесів, що протікають, вимоги до керуючих впливів та специфіка вихідних даних призводять до актуальності використання в якості СППР при управлінні процесом киснево-конверторної плавки сталі системи, що самонавчається. Основними критеріями ефективності такої системи, крім підвищення економічної ефективності об'єкта управління, за рахунок мінімізації витрат матеріально-сировинних, паливно-енергетичних та трудових ресурсів, є оптимальне використання попередніх даних для ініціалізації, адаптація до змін в об'єкті управління та до зміни запитів на об'єкт управління [8].

Система з самонавчанням – це система, алгоритм функціонування якої формується та/або вдосконалюється у процесі самонавчання під впливом зовнішніх збурень. Відповідно, СППР, що самонавчається, – це система, яка має здібності до самонавчання, результатом функціонування якої є прийняте рішення. Принципи побудови таких систем докладно описані в [9]. Застосування СППР з самонавчанням до побудови моделей технологічних процесів металургійного виробництва знайшли своє відображення у дослідженні [10].

В [11] наведені різні техніки обробки вхідних даних та алгоритми застосування їх у системах самонавчання для розв'язання задач прогнозування плинності технологічних процесів та управління ними.

Мета дослідження. Метою даної роботи є формування архітектури інтегрованої СППР керування в конвертерному виробництві сталі на основі принципу мінімального втручання у процес виробництва. Головне завдання такої системи – прогнозування поведінки виробничого процесу з видачею рекомендації щодо впливу на нього задля оптимізації зовнішнього критерію ефективності. Система підтримки прийняття рішень має спиратися на самонавчання та одержання знань із аналізу дій людини.

Викладення основного матеріалу дослідження. При проектуванні СППР керування конвертерною виплавою сталі було проаналізовано насамперед перелік тих вхідних параметрів керування, які можна ефективно змінювати і контролювати, і які в свою чергу визначають ефективність виробничого процесу. До таких параметрів автори відносять

- 1) кількість металобрухту, що завантажується в конвертер;
- 2) кількість залізовмісних брикетів (ЗВБ), які використовуються;
- 3) кількість розкислювачів (по видах), які використовуються;
- 4) час продування;
- 5) кількість коригуючи і легуючих компонентів (по видах), які використовуються.

Обрані величини не лише є доступними для контролю і керування, на відміну від, наприклад, хімічного складу чавуну, а й визначають в підсумку економічно показники виробництва.

Джерелом даних для навчання СППР конвертерного виробництва пропонується взяти паспорти плавки за достатньо тривалий термін, який би охоплював виплавку різних сортів сталі, різні конвертери (на деяких виробництвах їх може бути два або три), різні футеровки цих конвертерів, різні пори року та звичайно роботу різних операторів на кожному з конвертерів. Паспорти плавки містять початкові умови процесу плавки, виконані оператором маніпуляції (керуючі впливи) та результати роботи у вигляді хімічного складу, температури та інших характеристик готової продукції.

Вбачається, що раціональним буде ретроспективний горизонт у 4-5 років, який охоплюватиме статистично значиму кількість плавки на кожному з марок за кожної зі змінних умов, перелічених вище. За умови нормального режиму роботи навчальна база даних має містити відомості про 3-5 тисяч проведених плавки. З допомогою цих даних можна простежити динаміку процесів у системі та зменшити вплив на навчання випадкових відхилень.

Такі початкові дані, а також структура технологічного процесу, описана раніше, визначають загальну архітектуру керуючої СППР з самонавчанням. Її загальна структура, що описує інформаційну взаємодію, представлена на рисунку 2.

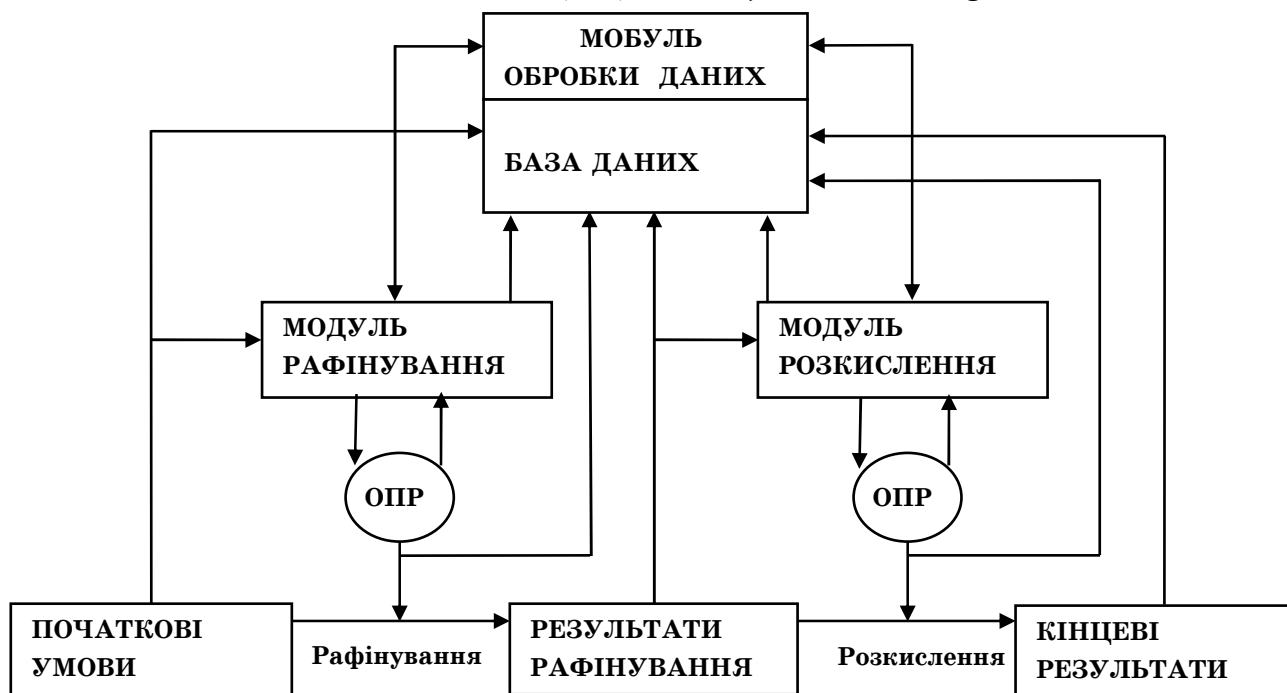


Рисунок 2 - СППР з самонавчанням в процесі управління процесом виробництва сталі в кисневому конвертері

У схемі, що запропонована, всі відомості про поточну плавку, а саме її початкові умови, прийняті оператором рішення та кінцеві результати, зберігаються в базі даних, яка також містить усі попередні паспорти плавок і оновлюється в процесі роботи системи. Така база даних використовує систему міток, що дозволяють розрізнити керуючі рішення та його результати за критерієм походження: сформовані вони програмно чи це рішення людини. Такий поділ дозволяє використовувати два принципи отримання знань – самонавчання та навчання на прикладах – одночасно.

Для ефективного аналізу поточних ситуацій застосовується порівняння дії людини і машина, а також їх взаємодія. Ця функція реалізується модулем обробки даних, який також відповідає за обробку всієї інформації, що надходить в систему і обробляє запити інших модулів. Позаяк керуючі впливи функціонально можна розділити на дві великі категорії, відповідно до системи включені ще два модулі: модуль рафінування і модуль розкислення. Їх головними завданнями є:

- прогнозування поведінки відповідних виробничих процесів;
- генерація керуючих рішень;
- забезпечення взаємодії ОПР із системою підтримки прийняття рішень.

Головною особливістю СППР, що пропонується, модульність. Розроблена

структурна схема не передбачає апіорного вибору жодного алгоритму навчання, оптимізації чи прогнозування, а реалізує принцип універсальності, своєрідної платформи для широкого спектра алгоритмів. Зручність такого поділу на модулі полягає у можливості реалізації кожного модуля за допомогою того чи іншого алгоритму, з подальшою незалежною заміною кожної окремо взятої реалізації. Також такий поділ створює сприятливий ґрунт для проведення експериментальних досліджень.

По-перше, такий підхід дає можливість апробації будь-якої кількості існуючих алгоритмів навчання, прогнозування та оптимізації з метою подальшого вибору найбільш ефективних. По-друге, передбачає модифікацію системи в майбутньому, в разі появи більш ефективних алгоритмів чи процедур для реалізації окремих модулів чи функції загальної системи. І по-третє, з'являється можливість паралельного використання низки конкуруючих алгоритмів, з можливістю вибору найприйнятніших за тим чи іншим зовнішнім критерієм якості результатів.

Принцип функціонування СППР, побудованої за схемою на рисунку 2, наступний. Дані про початкові умови одночасно надходять у базу даних та модуль рафінування. На першому етапі в ході взаємодії модуля рафінування з модулем обробки даних прогнозується процес рафінування сталі. На основі отриманих прогнозів генеруються керуючі рішення. При цьому передбачено, що їх може бути декілька залежно від поточного стану технологічного процесу. Особа, що приймає рішення (оператор конвертера) має або обрати якесь із запропонованих рішень, або на основі отриманої інформації, сформулювати власний керуючий вплив.

Позаяк система працює в реальному режимі часу, передбачається можливість проміжних взаємодій ОПР з системою з метою уточнення результатів, що генеруються СППР, наприклад, повторного рейтингування альтернативних рішень або ж виключення некоректних.

Обраний оператором керуючий вплив заноситься до бази даних. Дані результатів рафінування також надходять у базу даних і до модуля розкислення. Модуль розкислення на підставі даних навчання формує рекомендації аналогічно модулю рафінування. Дії ОПР мають таку саму варіативність – він може або обрати одну з альтернатив, запропонованих системою, або ввести власне рішення. У результаті сформований керуючий вплив надходить на об'єкт і в базу даних.

Після завершення процесу розкислення кінцеві результати (хімічний

склад та температура сталі) заносяться до бази даних. Інформація щодо взаємодії ОПР з модулями рафінування та розкислення також надходить до бази даних. В подальшому вона має бути оцінена за зовнішніми критеріями – як технічними так і економічним. Інакше кажучи, кожна поточна плавка заносяться в базу даних і розмічається там для наступного врахування при навчанні.

Виходячи із запропонованої структури програмного забезпечення, для побудови системи підтримки прийняття рішень необхідно виконати ряд задач, які умовно можна поділити на задачі аналітика і задачі розробника. До задач аналітика віднесемо:

- аналіз структури даних, які описують плавку в кисневому конвертері з метою визначення їх інформативності, достовірності та виявлення можливих внутрішніх залежностей в початковій інформації;
- обрати коло алгоритмів для рішення задач прогнозування, оптимізації та навчання, що можуть бути використані в системі;
- розробити структуру бази даних та бази знань СППР;
- визначити і обґрунтувати критерії ефективності рішень, що приймаються оператором, оцінити наявні рішення та створити систему оцінки поточних рішень.

По задач розробника програмного забезпечення слід віднести наступні:

- сформулювати оптимальну структуру для кожного модуля;
- створити дослідницький прототип СППР, що самонавчається;
- провести дослідження різних алгоритмів на дослідницькому прототипі та зробити висновки щодо кожного з них;
- на основі найефективніших алгоритмів створити робочий прототип;
- інтегрувати робочу систему в управління виробництвом.

При цьому одним з ключових рішень є вибір системи представлення знань у інформаційній системі, які будуть пов'язувати певні кількісні показники протікання технологічного процесу та якісні оцінки дій оператора. З огляду на значний вплив суб'єктивного досвіду оператора на технологічний процес та його мислення в якісних категоріях, раціональним бачиться застосування математичного апарату нечітких множин для опису окремих параметрів технологічного процесу та критеріїв якості. Водночас для організації нечіткого виведення на кількісно-якісних даних може бути рекомендована нечітка нейронна мережа Такагі-Сугено-Канга, а в якості алгоритму її навчання – евристичні методи багатовимірної оптимізації, зокрема еволюційні.

Висновки. В роботі запропоновано архітектуру інтегрованої СППР керування в конвертерному виробництві сталі на основі принципу мінімального втручання у процес виробництва. Головне завдання такої системи – прогнозування поведінки виробничого процесу з видачею рекомендації щодо впливу на нього задля оптимізації зовнішнього критерію ефективності.

Обґрунтовано джерело та кількість даних, необхідних для формування бази даних та бази знань СППР, описаний механізм самонавчання в ході виконання технологічних завдань.

Запропоновано структурну схему СППР з самонавчанням, самонавчання, головною особливістю якої є модульність. Такий підхід дає можливість апробації будь-якої кількості існуючих алгоритмів навчання, прогнозування та оптимізації з метою подальшого вибору найбільш ефективних, передбачає модифікацію системи в майбутньому та надає можливість паралельного використання низки конкуруючих алгоритмів. Оператор має можливість вибору в якості керуючого рішення одного з запропонованих системою, або формування свого власного, кращого певним зовнішнім критерієм якості результатів.

Виходячи із запропонованої структури програмного забезпечення, сформульовані ряд задач, які необхідно виконати для побудови системи підтримки прийняття рішень. Також запропоновано використання математичного апарату нечітких множин для опису окремих параметрів технологічного процесу та критеріїв якості, нечіткої нейронної мережі для моделювання процесів міркувань та вибір алгоритму її навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернега Д.Ф. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський, С.Г. Грищенко, В.М. Шифрін, В.Я. Шурхало — К.: Вища шк., 2006. — 503 с.
2. Нестеров М.Е. Повышение эффективности устаревшего производства с помощью современных самообучающихся систем поддержки принятия решений на примере кислородно-конвертерного цеха ДМЗ им. Петровского / М.Е. Нестеров, Т.А. Желдак // Збірник наукових праць НГУ – Д.: НГУ, 2010. - №34, т.2. – с. 202-207.
3. Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі (теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія) / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин – Д.: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. — 454 с.
4. Новикова Е. Ю., Михалев А. И., Бубликов Ю. А. Нечеткая идентификация процесса микролегирования стали с карбонитридным упрочнением // Сучасні

проблеми металургії: Наукові праці. – Д.: Системні технології, 2006.- С. 113-127.

5. Желдак Т.А. Система підтримки прийняття рішень планування виробництва та контролю перебігу технологічного процесу / Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // 17-та Міжн. конф. «Автоматика-2010». Тези доп. Т. 1. – Х: ХНУРЕ, 2010. с. 212-214.

6. Ус С. А. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С. А. Ус, Л. С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид. випр. – Д: НТУ «ДП», 2018. – 302 с.

7. Слесарев, В.В. Інтегровані системи керування багатостадійним металургійним виробництвом на прикладі прокатки труб / В.В. Слесарев, Т.А. Желдак // Системні технології. – № 4 (75). – Д., 2011. – с. 78–85.

8. Модель керування конвертерним процесом у системі прийняття рішень / В. С. Богушевський, С. В. Жук, К. О. Сергеева, М. В. Горбачова // Системні дослідження та інформаційні технології. – Д., 2012. – № 4 – С. 35-44.

9. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод // 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.

10. Новікова К. Ю. Математичне моделювання процесів металургійного виробництва з використанням методів нечіткого виводу: автореф. дис... канд. техн. наук : 01.05.02 / К. Ю. Новікова. – НМетАУ. - Д., 2008. - 20 с.

11. Witten, I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques.—3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. // Elsevier, 2011. –630 p.

REFERENCES

1. Cherniha D.F. Osnovy metalurhiinoho vyrobnytstva metaliv i splaviv / D.F. Cherniha, V.S. Bohushevskiy, Yu.Ya. Hotvianskyi, S.H. Hryshchenko, V.M. Shyfrin, V.Ya. Shurkhalo — K.: Vyshcha shk., 2006. — 503 s.

2. Nesterov M.E. Povyshenie effektivnosti ustarevsheho proizvodstva s pomoshchiu sovremennykh samoobuchaiushchykh sistem podderzhky prinyatiya resheniy na primere kyslorodno-konverternogo tsekha DMZ im. Petrovskoho / M.E. Nesterov, T.A. Zheldak // Zbirnyk naukovykh prats NHU – D.: NMU, 2010. – V.34, t.2. – s. 202-207.

3. Boichenko B.M. Konverterne vyrobnytstvo stali (teoriia, tekhnolohiia, yakist stali, konstruktsiia ahrehativ, retsyrukuliatsiia materialiv i ekolohiia) / B.M. Boichenko, V.B. Okhotskyi, P.S. Kharlashyn – D.: RVA «Dnipro-VAL», 2004. – 454 s.

4. Novykova E. Yu., Mykhalev A. Y., Bublykov Yu. A. Nechetkaia identifikatsiya protsessa mykrolehirovaniia staly s karbonitridnym uprochneniem // Suchasni problemy metalurhii: Naukovi pratsi. – D.: Systemni tekhnolohii, 2006.- S. 113-127.
5. Zheldak T.A. Systema pidtrymky pryiniattia rishen planuvannia vyrobnytstva ta kontroliu perebihu tekhnolohichnoho protsesu / T.A. Zheldak, D.M. Haranzha // 17-ta Mizhn. konf. «Avtomatyka-2010». Tezy dop. T. 1. – Kh: KhNURE, 2010. – s. 212-214.
6. Us S. A. Modeli y metody pryiniattia rishen: navch. posib. / S. A. Us, L. S. Koriashkina; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. tekhn. un-t «Dniprovska politekhnika». – 2-he vyd. vypr. – D: NTU «DP», 2018. – 302 c.
7. Slesariiev V.V. Intehrovani systemy keruvannia bahatoetapnym metalurhiinym vyrobnytstvom na prykladi prokatky trub / V.V. Sliesariiev, T.A. Zheldak // Systemni tekhnolohii. – № 4 (75). – D., 2011. – s. 78–85.
8. Model keruvannia konverternym protsesom u systemi pryiniattia rishen / V. S. Bohushevskiy, S. V. Zhuk, K. O. Serheieva, M. V. Horbachova // Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii. – D., 2012. - № 4 - S. 35-44.
9. Barsehian A.A. Tekhnolohii analiza dannykh: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / A.A. Barsehian, M.S. Kupryianov, V.V. Stepanenko, Y.Y. Kholod // 2-e yzd., pererab. y dop. – SPb.: BKhV-Peterburh, 2007. – 384 s.
10. Novikova K. Yu. Matematychni modeliuvannia protsesiv metalurhiinoho vyrobnytstva z vykorystanniam metodiv nechitkoho vyvodu: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk : 01.05.02 / K. Yu. Novikova. – NMetAU. - D., 2008. - 20 s.
12. Witten, I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques.—3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. // Elsevier, 2011. –630 p.

Received 17.03.2022.

Accepted 21.03.2022.

***Development of self-learning intelligent decision-making support system
to control steel production technological processes***

Taking to the consideration the current state of converter production and measuring equipment at Ukrainian enterprises, it follows that the smelting process is based on a complex dynamic non-deterministic system. The process is complicated by the large number of parameters, the inability to accurately identify the state of the system at any time, as well as the difficulty of forecasting system requirements.

Preliminary analysis has shown that in the conditions of this production converter manufacturing efficiency increase can be reached at the expense of:

- reducing the cost of raw materials, such as iron-containing additives, deoxidizers, non-metallic elements in steel;*
- reduction of melting time, especially blowing time;*

- reducing defects and improving product quality.

It is proposed the architecture of integrated control DSS in converter steel production based on the principle of minimal interference in the production process. The primary aim of such a system is to predict the behavior of the production process, providing the recommendations for its impact in order to optimize the external criterion of efficiency.

The source and amount of data required for the database formation and DSS knowledge base are substantiated. The mechanism of self-learning in the course of technological tasks is described.

The structural scheme of self-learning DSS, self-learning algorithm, which is mainly featured with modularity, is offered in the paper. The approach allows testing of any number of existing algorithms for learning, forecasting and optimization in order to further select the most effective ones, modifies the system in the future and allows the parallel use of a number of competing algorithms. The operator has the opportunity to choose as a control solution one of the proposed systems, or the formation of its own, better by a certain external criterion of result quality.

Based on the suggested software structure, a number of tasks are formulated that need to be performed to build a decision support system.

It is also considered to apply the mathematical apparatus of fuzzy sets to describe certain parameters of the technological process and quality criteria, fuzzy neural network for modeling reasoning processes and the choice of algorithm for its training.

Зіборов Ілля Кирилович – аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна.

Желдак Тімур Анатолійович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри системного аналізу та управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна.

Ziborov Illia Kyrylovych – master of science, Dnipro University of Technology, Ukraine.

Zheldak Timur Anatolijovych – Candidate of technical science, assistant professor, head of System analysis and control department, Dnipro University of Technology, Ukraine.

O.O. Kavats, D.A. Khramov, K.L. Sergieieva, V.V. Vasyliiev

OPEN ACCESS SATELLITE DATA FOR GLOBAL GREENHOUSE GAS MONITORING

Abstract. Open satellite concentration data for the main greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O) are considered in terms of their possible use for local, regional, and global monitoring. The main data characteristics are provided. The satellite products most suitable for global monitoring of greenhouse gas concentrations are specified. The disadvantages of existing satellite data are analyzed.

Keywords: greenhouse gas, CO_2 , CH_4 , N_2O , concentration, satellite monitoring, TROPOMI, GOSAT, OCO-2.

Problem statement. Global warming or the enhanced greenhouse effect is the planet warming due to increased concentrations of greenhouse gases because of human activities [1]. The environmental, economic, and social consequences of global warming may affect all humankind in the future, and some of them (retreat of glaciers, earlier flowering of plants, changes in agricultural productivity) are already observed. Control over this phenomenon is possible only with comprehensive monitoring of greenhouse gas emissions at the local, regional, and global levels. An important role in enforcing such controls is played by satellite instruments for measuring the greenhouse gases concentration.

The main greenhouse gases with increasing concentrations are carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), hydrochlorofluorocarbons, hydrofluorocarbons, and ozone (O_3) in the lower atmosphere. In the Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change, three gases as critical drivers of climate change are listed: CO_2 , CH_4 , and N_2O [2]. Let's consider satellite products containing data on these major greenhouse gases concentration.

The **objective** of the research is to describe the capabilities of satellite instruments for solving the problems of greenhouse gases concentration monitoring at the local, regional, and global levels. For this, operational satellite instruments providing open and free data, are considered. Information on greenhouse gases

concentration for earlier periods, including from no longer operational satellites, can be found in [3, 4]. For each instrument, the data main characteristics and the data accessing method are specified. In addition, multicomponent data are considered, combining the results of satellite and in-situ measurements.

Operational **satellite instruments** for measuring the greenhouse gases concentration, with publicly available data, are given in Table 1. Data application level: spot, national, and global. At a spot level, satellite data allows monitoring of a specific greenhouse gas emissions source, such as a thermal power station. National and global levels — emission monitoring at the country (region) and global levels. Detailed information about satellites and instruments can be obtained from online databases CEOS Database (<http://database.eohandbook.com>) and WMO OSCAR (<https://space.oscar.wmo.int/satellites>).

Table 1

Satellite instruments for measuring greenhouse gas concentration

Satellite	Instrument	Greenhouse Gas	Level
SciSat-1*	ACE	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	global
Sentinel-5P	TROPOMI	CH ₄	spot, national, global
Metop-A/B/C	IASI	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	national, global
GOSAT	TANSO-FTS	CO ₂ , CH ₄	national, global
GOSAT-2	TANSO-FTS-2	CO ₂ , CH ₄	national, global
Aqua	AIRS	CH ₄	national, global
Suomi NPP/JPSS	CrIS	CH ₄	national, global
OCO-2	OCO-2	CO ₂	spot, national, global
OCO-3-on-ISS	OCO-3	CO ₂	spot, national, global

* SciSat-1 data are publicly available till August 2020 [5, 6]. Only the ACE project scientific team can get access to up-to-date data.

Satellite data. Open data characteristics of operating satellites for measuring greenhouse gas concentrations are presented in Table. 2.

Table 2

Open satellite data characteristics

Satellite, Instrument	Temporal Resolution	Available since	Spatial Resolution, km	File Format
Sentinel-5P, TROPOMI	daily	May 2018	5.5×7	netCDF-4
Metop-A/B/C, IASI	14-15 images per day per one satellite	May 2009	12	Native, netCDF-4
GOSAT, TANSO-FTS	daily, monthly	April 2009	10.5	HDF, TAR
GOSAT-2, TANSO-FTS-2	daily	March 2009	9.7	HDF
Aqua, AIRS	daily, monthly	September 2002	1° (about 111 km)	HDF
Suomi NPP/JPSS, CrIS	daily	April 2021	14	netCDF
OCO-2, OCO-2	16 days	September 2014	2.25×1.29	netCDF
OCO-3-on-ISS, OCO-3	16 days	August 2019	2.25×1.29	netCDF

Sentinel-5P TROPOMI. Among the main greenhouse gases, TROPOMI measures the concentration of methane (Sentinel-5 Precursor Level 2 Methane (L2_CH4_) <https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Methane concentration data are disseminated as OFFL (offline) products. The time delay is 5 days after a sensing date.

The methane concentration map on January 17, 2022, is represented in Fig.1. HDF/netCDF files were visualized with Panoply (<https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>).

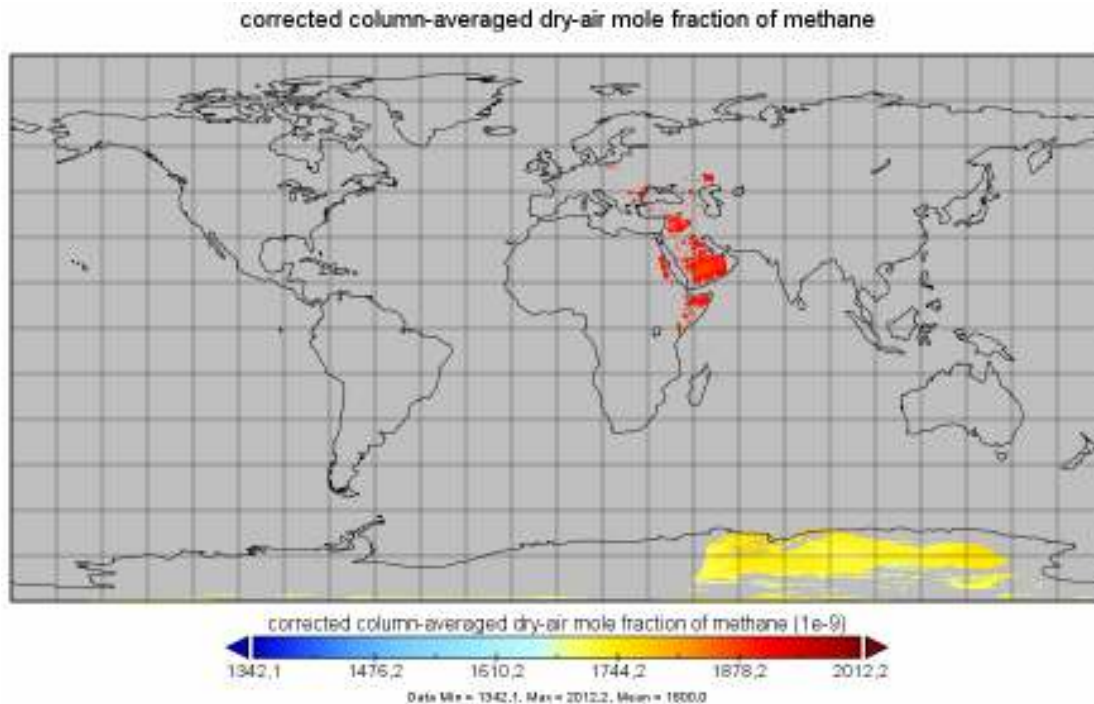


Figure 1 — Concentration of CH₄ retrieved from image

S5P_OFFL_L2_CH4__20220117T091456_20220117T105626_22090_02_020301_20220119T012159

Methane concentration (ppb):

CH4___/PRODUCT/methane_mixing_ratio_bias_-corrected.

Concentration measurement accuracy assessment (standard error):

CH4___/PRODUCT/methane_mixing_ratio_precision. It is recommended to multiply all values by 2 [7].

Data quality: CH4___/PRODUCT/qa_value. It is recommended to use qa_value > 0.5 [7].

Here and below, the corrected values of the gas concentration are used. TROPOMI data bias was corrected based on comparison with in-situ observations [8]. GOSAT/GOSAT-2 CO₂ and CH₄, as well as OCO-2/OCO-3 CO₂ data, were corrected in the same way.

Google Earth Engine converts Sentinel-5P Level-2 to Level-3 products (Sentinel-5P OFFL CH4 [9]), converting netCDF files to the lat-lon fixed grid using the HARP toolset (<https://github.com/stcorp/harp>).

According to de Gouw et al. [10], TROPOMI data can be used to monitor methane emissions caused by oil and natural gas production.

Metop IASI (<https://iasi.aeris-data.fr/catalog/>). IASI Trace Gases product contains atmospheric N₂O, CH₄, and CO₂ column concentrations combining measurements from Metop-A/B/C satellites (Metop-A was decommissioned on October 15,

2021). Gas concentrations are evaluated using artificial neural networks trained on synthesized RTTOV model data and a set of trace gas profiles from the MOZART model. The data are provided in demo mode [11].

The total content of greenhouse gases in the atmospheric column (kg/m^2):

- `integrated_ch4`;
- `integrated_co2`;
- `integrated_n2o`.

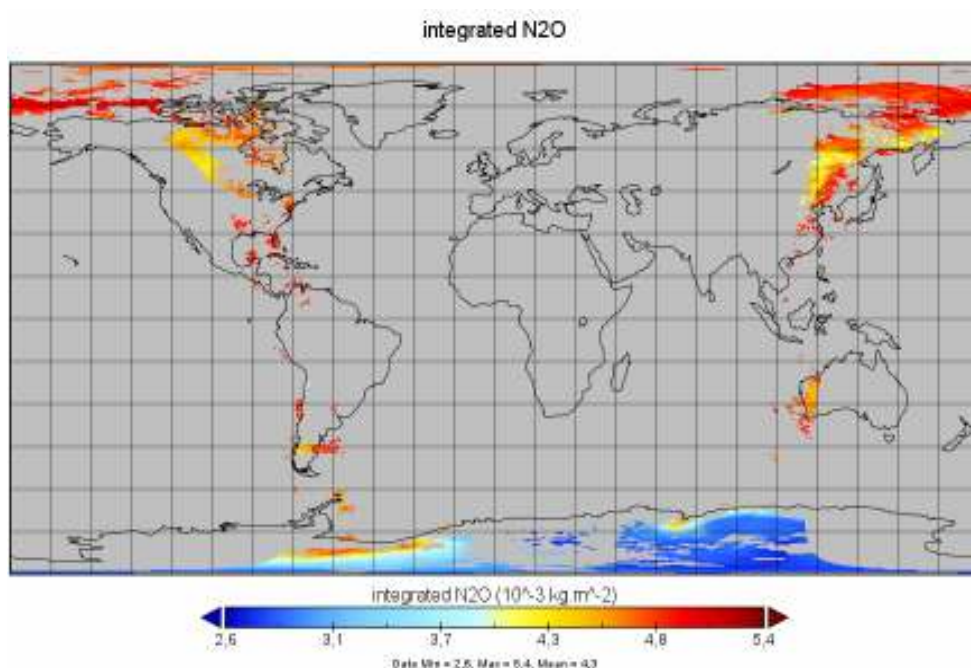


Figure 2 — Concentration of N_2O retrieved from Metop IASI Trace Gases (January 19, 2022, 18:17:55 UTC)

GOSAT TANSO-FTS measures carbon dioxide and methane concentration. Data are provided in HDF format at the end of the month. In L2 products, one month's daily data are archived in TAR (https://data2.gosat.nies.go.jp/index_en.html)

GOSAT Level-2 daily products:

- L2 CO_2 column amount (SWIR)
- L2 CH_4 column amount (SWIR)

Level 2 data:

CO_2 concentration (ppmv): `Data/mixingRatio/XCO2BiasCorrected` (CH_4 : `CH4BiasCorrected`);

Standard error: `Data/mixingRatio/XCO2StandardError` (CH_4 : `XCP4StandardError`).

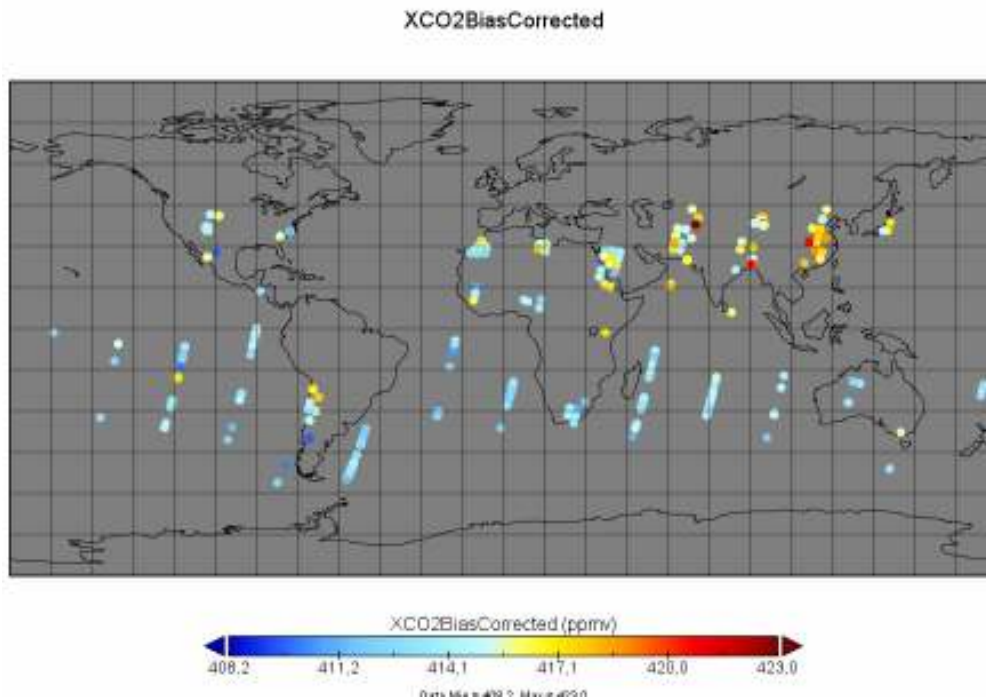


Figure 3 — Atmospheric CO₂ column concentrations on December 1, 2021
(GOSATTFTS20211201_02C01SV0298R211201GU000.h5)

Level-3 monthly products are suitable for global monitoring:

- L3 global CO₂ distribution (SWIR);
- L3 global CH₄ distribution (SWIR).

(the structure is similar to Level-2 products).

GOSAT-2 TANSO-FTS-2 is an improved version of GOSAT Fourier Transform Spectrometer: five bands instead of four (two TIR bands), bands (except TIR) are split in two polarization components (P and S), band 3 has been extended to observe carbon monoxide [12].

Data on carbon dioxide and methane concentration are provided in daily product GOSAT-2 TANSO-FTS-2 SWIR L2 Column-averaged Dry-air Mole Fraction Product in HDF. File description: NIES GOSAT-2 Product File Format Descriptions (<https://prdct.gosat-2.nies.go.jp/index.html>).

Gas concentration (ppm):

- RetrievalResult/xco2
- RetrievalResult/xch4

Standard error: RetrievalResult/*_uncert

Quality flags: RetrievalResult/*_quality flag (values: 0 – Good, 1 – Fair, 2 – Poor, 3 – NotGenerated).

GOSAT-2 does not provide monthly products like GOSAT L3.

AIRS Aqua. Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) on Aqua satellite currently measures methane concentrations in the middle and upper troposphere, at altitudes of 5–15 km (measurement of carbon dioxide concentration was stopped due to the failure of some instruments). These measurements are much less dependent on cloud cover since they are performed above the lower cloud layer.

Aqua/AIRS L2 Near Real Time (NRT) Standard Physical Retrieval (AIRS-only) V7.0 (AIRS2RET_NRT) can be used for operational monitoring.

Level-3 data are generated from Level-2 products with quality indicators: best (0) or good (1):

- Aqua/AIRS L3 Daily Standard Physical Retrieval (AIRS-only)
1° × 1° V7.0 (AIRS3STD)
- Aqua/AIRS L3 Monthly Standard Physical Retrieval (AIRS-only)
1° × 1° V7.0 (AIRS3STM)

AIRS-only means that the measurements are performed only by the AIRS instrument.

AIRS L3 products include ascending и descending indicators corresponding to observations on the day and night sides of the orbit. Ascending has a suffix "_A", descending — "_D". There are also ascending_TqJoint and descending_TqJoint data with improved quality control.

Ascending data fields (similarly for descending):

- Concentration (ppm · 10⁻⁶):
ascending_TqJoint/Data_Fields/CH4_VMR_TqJ_A
- Standard error:
ascending_TqJoint/Data_Fields/CH4_VMR_TqJ_A_sdev

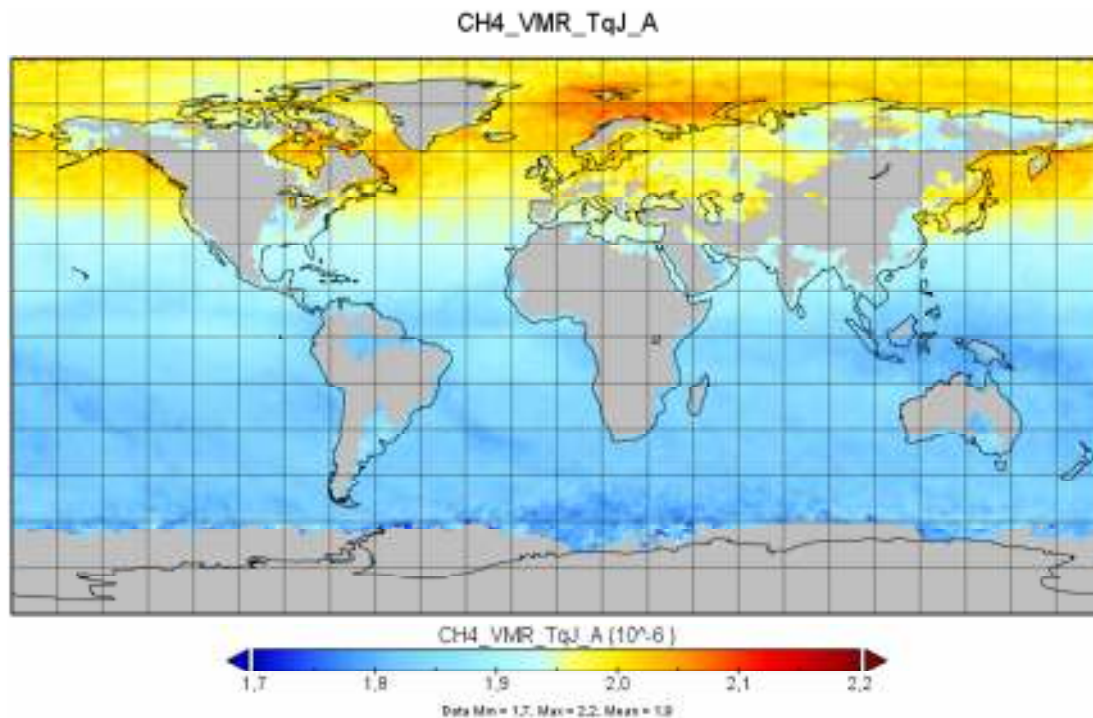


Figure 4 — Methane concentration (ascending_TqJoint) on January 12, 2021
(AIRS.2021.12.01.L3.RetStd_IR031.v7.0.4.0.G22011212218)

AIRS L3 Monthly composites are also of interest.

TROPES AIRS-Aqua L2 Methane for Forward Stream, Standard Product V1 (TRPSDL2CH4AIRSFS) contains the vertical distribution of the retrieved atmospheric state of methane

(https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRPSDL2CH4AIRSFS_1/summary).

- Temporal Extent: February 2021 — present
- Spatial Resolution: 45 km × 45 km
- Vertical Resolution: 2 km
- Temporal Resolution: daily
- File Format: netCDF

Suomi NPP/JPSS1 CrIS. Methane concentration is presented in the TROPES CrIS-JPSS1 L2 Methane for Forward Stream, Standard Product V1 (TRPSDL2CH4CRS1FS).

Data access: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRPSDL2CH4CRS1FS_1/summary

OCO-2/OCO-3 measures carbon dioxide concentration once every sixteen days. Data peculiarities are the relatively high spatial resolution (2.25 km × 1.29 km) and narrow swath. Given a cloud cover, data for global monitoring must be collected during a month or more. There are no such ready products.

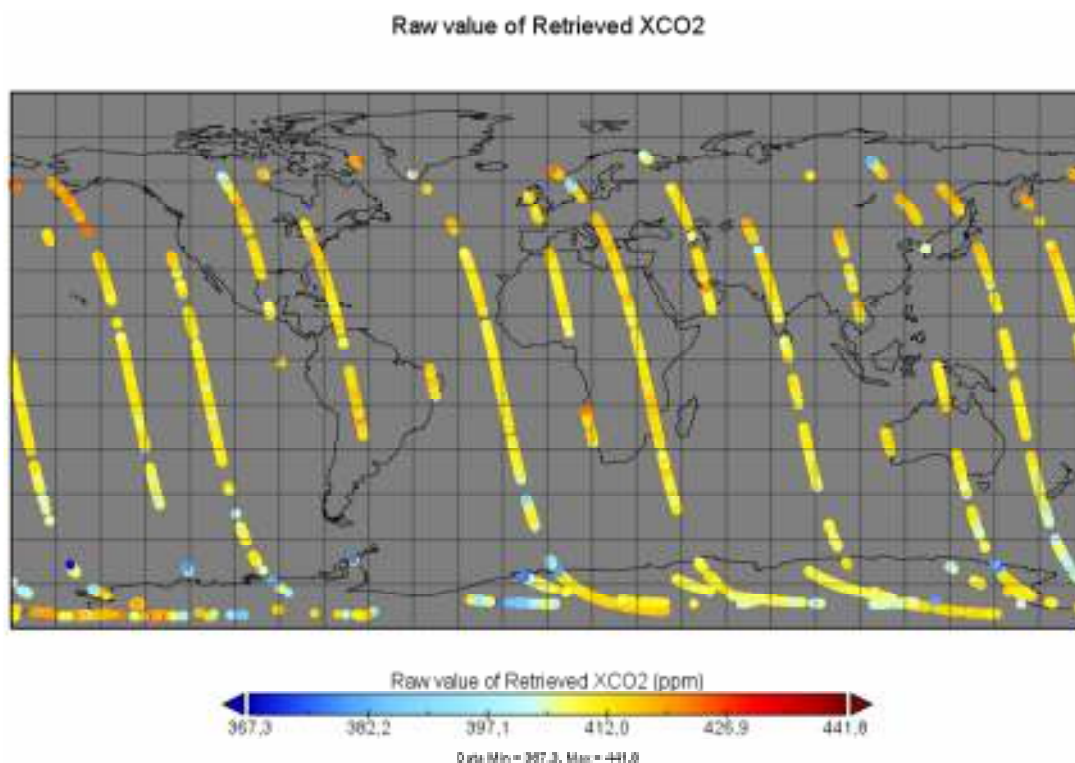


Figure 5 — Concentration of CO₂ on October 31, 2021
(oco2_LtCO2_211031_B10206Ar_220103202233s)

Daily products:

- OCO-2 Level 2 bias-corrected XCO₂ and other select fields from the full-physics retrieval aggregated as daily files, Retrospective processing V10r (OCO2_L2_Lite_FP).

Data access:

https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO2_L2_Lite_FP_10r/summary

- OCO-3 Level 2 bias-corrected XCO₂ and other select fields from the full-physics retrieval aggregated as daily files, Retrospective processing V10r (OCO3_L2_Lite_FP)

Data access:

https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OCO3_L2_Lite_FP_10r/summary

Data fields:

- Concentration: xco2
- Quality flag: xco2_quality_flag
- Standard error: xco2_uncertainty

Multicomponent data. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) provides observation-based data (satellite and in-situ) and modeling results. CAMS supports many products, in particular, CAMS global emission inventories [14].

Typically, these products are at a spatial resolution from 0.1° to 0.5° and are updated twice a year. They are much less operational but more detailed than satellite data (for example, describe greenhouse gas emissions from various industries).

Conclusions. Up-to-date open-access satellite data on main greenhouse gases concentration are reviewed. Among them, the most data are on the methane concentration measured both in the atmospheric column and in the middle troposphere. Of greatest interest is the Sentinel-5P Level 2 Methane Product, which can be successfully used for spot, national, and global monitoring.

Data on carbon dioxide concentrations are almost as widely available. Among them are unique measurements of the vertical concentration distribution of TROPES AIRS-Aqua L2 Methane for Forward Stream. OCO-2/OCO-3 data are best suited for spot measurements but have a comparatively longer repeat cycle (16 days). The use of GOSAT L3 global CO₂ distribution products is promising for global monitoring. At the same time, there is a lack of data at a sufficiently high spatial resolution and with a high acquisition frequency, like the Sentinel-5P methane data. The situation should significantly improve after the launch of a pair of TANGO satellites (CH₄, CO₂, and NO₂ concentration measurement at a spatial resolution of 300 m) and the CO2M satellite (CO₂ concentration at a spatial resolution of 2 km), scheduled for 2024 and 2025, respectively [15, 16].

There is a lack of data on nitrous oxide concentration. Currently, the only choice is the Metop IASI Trace Gases (integrated_n2o) product. However, these data are experimental ([17], see Section 8.3).

REFERENCES

1. What are greenhouse gases. WMO for Youth. Available online: <https://youth.wmo.int/en/content/what-are-greenhouse-gases> (accessed on 15.02.2022).
2. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on the third part of its first session, held in Katowice from 2 to 15 December 2018. P. 18-53. Available online: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2018_3_add2_new_advance.pdf (accessed on 15.02.2022).
3. Carbon dioxide data from 2002 to present derived from satellite observations. Climate Data Store. Available online: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-carbon-dioxide> (accessed on 15.02.2022).

4. Crippa, M.; Guizzardi, D.; Solazzo, E. et. al (2021): Emissions Database for Global Atmospheric Research, version v6.0_FT_2020 (GHG time-series). European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset]
PID: <http://data.europa.eu/89h/2f134209-21d9-4b42-871c-58c3bdcfb549>
5. P. Bernath, et al. Sixteen-year trends in atmospheric trace gases from orbit. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 107178, 2020; doi:10.1016/j.jqsrt.2020.107178.
6. Atmospheric Chemistry Experiment SciSat Level 2 Processed Data, v4.0. Atmospheric Chemistry Experiment SciSat Level 2 Processed Data, v4.0. FRDR-DFDR. Available online: <https://www.frdr-dfdr.ca/repo/dataset/c75d2c49-0def-49e5-9c69-5e74c824dc6c> (accessed on 15.02.2022).
7. Sentinel-5 precursor/TROPOMI Level 2 Product User Manual Methane. P. 18-19. Available online: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2474726/Sentinel-5P-Level-2-Product-User-Manual-Methane.pdf/1808f165-0486-4840-ac1d-06194238fa96> (accessed on 15.02.2022).
8. Algorithm Theoretical Baseline Document for Sentinel-5 Precursor Methane Retrieval. P. 30-32. Available online: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/2476257/Sentinel-5P-TROPOMI-ATBD-Methane-retrieval.pdf/f275eb1d-89a8-464f-b5b8-c7156cda874e> (accessed on 15.02.2022).
9. Sentinel-5P OFFL CH4: Offline Methane. Earth Engine Data Catalog. Available online: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_CH4 (accessed on 15.02.2022).
10. de Gouw, J.A., Veefkind, J.P., Roosenbrand, E. et al. Daily Satellite Observations of Methane from Oil and Gas Production Regions in the United States. *Sci Rep* 10, 1379 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57678-4>
11. IASI Level 2: Product Guide. P. 26. Available online: <https://www.eumetsat.int/media/45982> (accessed on 15.02.2022).
12. GOSAT-2. Earth Online. Available online: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/gosat-2> (accessed on 15.02.2022).
13. AIRS Version 7 Level 3 Product User Guide. Available online: https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/AIRS/V7_L3_User_Guide.pdf (accessed on 15.02.2022).
14. CAMS global emission inventories. Atmosphere Data Store. Available online: ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-emission-inventories (accessed on 15.02.2022).

15. Landgraf, J. et al. (2020). The TANGO mission: A satellite tandem to measure major sources of anthropogenic greenhouse gas emissions. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-19643>
16. Sierk, B. et al. (2021). The Copernicus CO2M mission for monitoring anthropogenic carbon dioxide emissions from space. International Conference on Space Optics — ICSO 2020. <https://doi.org/10.1117/12.2599613>
17. Eumetsat IASI L2 PPF v6: Validation Report. Available online: <https://www.eumetsat.int/media/45687> (accessed on 15.02.2022).

Received 22.03.2022.

Accepted 23.03.2022.

Відкриті супутникові дані для глобального моніторингу парникових газів

Розглянуто відкриті супутникові дані про концентрацію основних парникових газів (CO_2 , CH_4 , N_2O). Дані надаються супутниковими інструментами Sentinel-5P TROPOMI, Metop-A/B/C IASI, GOSAT TANSO-FTS, GOSAT-2 TANSO-FTS-2, Aqua AIRS, Suomi NPP/JPSS CrIS, OCO-2 та OCO-3. Мета досліджень полягає в описі можливостей супутникових інструментів для вирішення задач моніторингу концентрації парникових газів на місцевому, регіональному та глобальному рівнях. Розглянуті комбіновані дані, що поєднують результати супутникових та наземних вимірювань.

Більшість даних по визначенню концентрації метану вимірюється у стовні атмосфери і в середній тропосфері. Найбільший інтерес представляє продукт Sentinel-5P Level 2 Methane, який може успішно застосовуватися для вирішення завдань точкового, національного та глобального моніторингу. Широко представлені дані по визначенню концентрації вуглекислого газу. Серед них є унікальні виміри вертикального розподілу концентрації TROPES AIRS-Aqua L2 Methane for Forward Stream з періодичністю зйомки в 1 добу. Дані OCO-2/OCO-3 найкраще підходять для точкових вимірювань з періодичністю зйомки в 16 діб. Для глобального моніторингу є перспективним використання продуктів GOSAT L3 global CO2 distribution. Разом з тим, відчувається дефіцит даних, що поєднують досить високу просторову роздільну здатність з високою частотою зйомки, подібних до даних Sentinel-5P для метану. Ситуація має суттєво покращитися після запусків пари супутників TANGO (вимірювання концентрації CH_4 , CO_2 та NO_2 з просторовою роздільною здатністю 300 м) та супутника CO2M (концентрація CO_2 з просторовою роздільною здатністю 2 км), запланованих на 2024 та 2025 р. відповідно. Продукт Metop IASI Trace Gases (integrated_n2o) є єдиними експериментальними даними по концентрації закису азоту.

Кавац Олена Олександрівна — к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Храмов Дмитро Олександрович — к.т.н., старший науковий співробітник, Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України.

Сергєєва Катерина Леонідівна — к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету "Дніпровська політехніка".

Васильєв Володимир Володимирович — к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики, Національного університету водного господарства та природокористування.

Kavats Olena Oleksandrivna — Ph.D., Associate Professor of the Department of Information Technology and Systems of Ukrainian State University of Science and Technology.

Khramov Dmitriy Alexandrovich — Ph.D., Senior Researcher, Institute of Technical Mechanics NASU and SSAU, Ukraine.

Sergieeva Kateryna Leonidivna — Ph.D., Associate Professor of the Information Technologies and Computer Engineering Department of Dnipro University of Technology.

Vasyliiev Volodymyr Volodymyrovych — Ph.D., Associate Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics of National University of Water and Environmental Engineering.

С.Л. Карпенко, Г.В. Рудакова

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

Анотація. У статті розглянуто схему взаємозв'язків між основними компонентами закритої зрошувальної системи такими як насосний агрегат, розподільний та зрошувальний трубопровід, запірна арматура, дощувальні машини універсальні, система керування з їх подальшим математичним описом. Проаналізовано систему як об'єкт керування, виявлені вхідні, вихідні та внутрішні параметри системи.

Ключові слова: насосний агрегат, запірна арматура, закрыта зрошувальна система, зрошувальне обладнання, математична модель.

Постановка проблеми. Перетворення сільськогосподарського виробництва у високо розвинутий сектор економіки неможливе без послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов. Україна належить до тих країн, де меліорація є одним з визначальних факторів загального стану виробництва продуктів харчування, сировини для промисловості, забезпечення продовольчої безпеки держави та експорту продукції сільськогосподарської галузі [1].

Важливим аспектом підтримання технологічного процесу вирощування агрокультур особливо на півдні країни є автоматизовані системи поливу, для ефективної роботи яких необхідно налаштування з урахуванням певних факторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В закритих зрошувальних системах (ЗЗС) на півдні України переважно застосовують дощувальні машини серії «Фрегат» (64% від загальної кількості роботоспроможних зрошувальних установок [2]). Загальну схему ЗЗС наведено на рис.1.

При експлуатації таких систем виникає низка проблем:

1. Серійна механізована зрошувальна система серії «Фрегат» обладнується та передбачає лише механічні методи управління, що виключає дистанційне керування або керування з використанням автоматизованих систем [3].

Одним з шляхів впровадження методів дистанційного керування в таких системах є використання сучасних технічних засобів автоматизації, а саме заслінок з електромеханічним приводом для вмикання або вимикання окремих фрегатів.

2. Існує проблема контролю тиску у ЗЗС. Виникнення суттєвих коливань тиску у системі може стати причиною виведення з ладу дощувальних машин; різке збільшення тиску у розподільному трубопроводі може спричинити його деформацію і, як наслідок, прорив. Різка зміна тиску у гідросистемі також спричиняє підвищення навантаження на насосні агрегати та може стати причиною їх поломки [4].

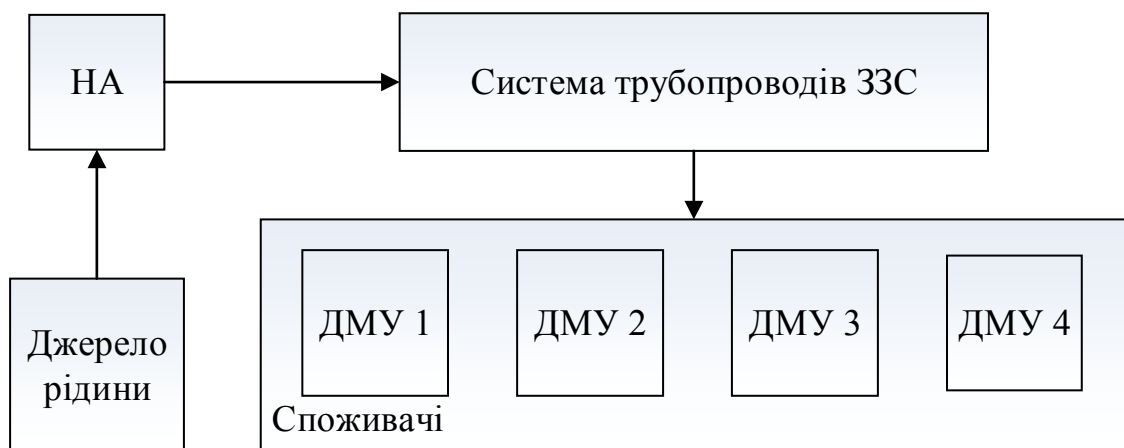


Рисунок 1 – Загальна схема ЗЗС

Можливим вирішенням цих задач є керування тиску у магістралі водопостачання дощувальних машин, шляхом автоматичного керування насосним обладнанням та встановленням відповідних датчиків (тиску, витратомірів та ін.) для зворотного зв'язку з системою керування.

За рахунок керування насосним обладнанням, яке створює тиск у магістралі, можна забезпечити належні режими роботи у магістралі водопостачання ДМУ.

Для покращення режимів поливу та дистанційного контролю стану системи необхідне також наявність відповідного програмного забезпечення для збору статистичних даних та керування.

Проведений аналіз схеми розташування дощувального обладнання [5] виявив доцільність переходу до типової узагальненої схеми (рис.2), що дозволяє уніфікувати обчислення для всіх можливих варіантів підключення в процес поливу (тобто активного дощувального обладнання) дощувальний машин універсальних ДМУ.

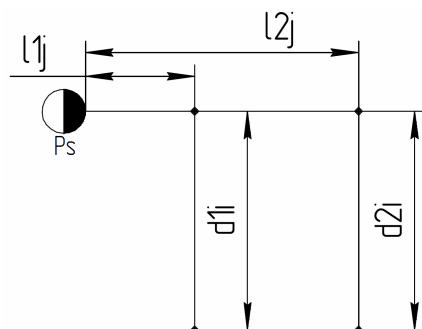


Рисунок 2 – Узагальнена умовна схема ЗЗС

Для ефективної роботи такої системи необхідно своєчасне перемикання між режимами роботи насосного агрегату, що можливо при існуванні належної системи керування. При розробці методів керування та виборі технічних засобів насамперед постає задача аналізу ЗЗС як об'єкта керування.

Мета дослідження. Метою дослідження є побудова математичної моделі ЗЗС як об'єкту керування, яка дозволить здійснювати аналіз процесів, що протікають в системі, та оцінювати ефективність методів керування, що розробляються.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для побудови математичної моделі ЗЗС як об'єкту керування розглянемо взаємозв'язки між окремими компонентами системи. Схему взаємодії складових компонентів наведено на рис. 3.

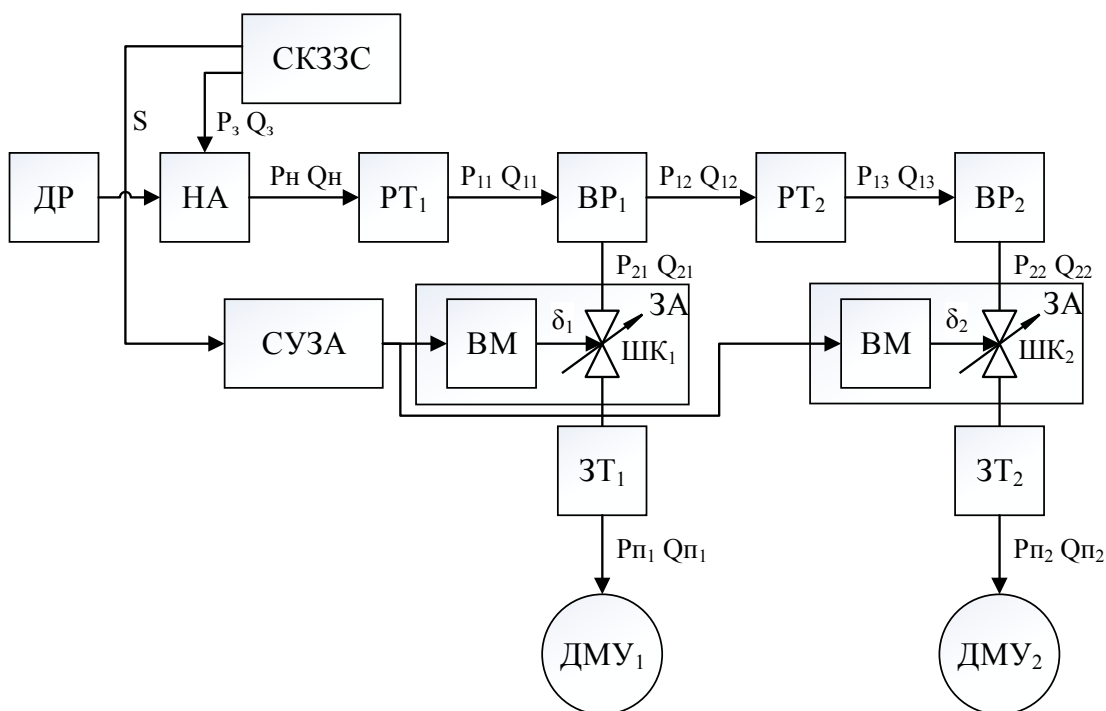


Рисунок 3 – Схема взаємозв'язків між складовими компонентами ЗЗС

До складу ЗЗС входять наступні компоненти:

- 1) насосний агрегат (НА), що забезпечує подачу води до системи трубопроводів з джерела рідини (ДР), яким може виступати відкрита водойма або магістральний трубопровід;
- 2) розподільний та зрошувальний трубопроводи (РТ та ЗТ), які поєднані в єдину систему за допомогою вузлів водорозподілу (ВР);
- 3) запірна арматура (ЗА) для підключення/відключення дощувального обладнання та регулювання потоку рідини за допомогою виконавчого механізму (ВМ) та шарового крану (ШК);
- 4) дощувальні машини універсальні (ДМУ), які безпосередньо забезпечують зрошення та є основними споживачами;
- 5) система керування закритою зрошувальною системою (СКЗЗС) та система управління запірною арматурою (СУЗА).

Основними параметрами в системі, які змінюються під час роботи, є тиск P , витрати Q та швидкість руху рідини V на виході відповідних компонентів схеми. Існують певні обмеження на припустимі значення для цих параметрів системи. Регулювання технологічних параметрів можливо здійснювати за рахунок зміни ступеня відкриття засувки ЗА (δ_1 , δ_2) та корегування відповідним чином частоти обертання ω електродвигуна насосного агрегату НА для підтримання необхідного тиску в усіх ланках трубопроводу ЗЗС.

Оскільки ЗЗС має у своєму складі систему трубопроводів великої довжини та діаметру, система має суттєву інерційність. ДМУ, які входять у склад ЗЗС, потребують подачі рідини постійного об'єму та тиску. Регулювання запірною арматурою в штатному режимі повинно здійснюватися плавно (для запобігання гідро ударів), тому при побудові системи автоматизованого керування запірної арматури (регулювання витрат та тиску рідини), необхідно формулювати задачу керування для ЗА з наступними показниками якості:

- перерегулювання відсутнє;
- час повного відкриття/закриття ЗА повинно складати $t_{за} = 60$ с;

При моделюванні ЗЗС приймаються наступні припущення:

- в усіх трубах протікає однофазний потік рідини, температура якого однакова на всіх ділянках;
- усі труби розташовані на одному рівні;
- втрати рідини при проходженні трубопроводу відсутні;
- у системі немає зворотних потоків.

Розглянемо компоненти системи (див. рис. 3.) окремо:

1. Математичний опис насосного агрегату.

До насосного агрегату у ЗЗС висуються жорсткі вимоги що до тиску та розходу рідини на виході НА. Структурна схема НА (рис. 4) у своєму складі має: насос (Н), двигун (Д) та систему автоматичного регулювання частоти (САРЧ). Для контролю параметрів НА необхідно застосовувати систему автоматичного регулювання напором (САРН).

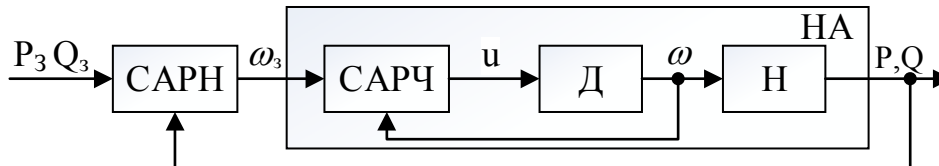


Рисунок 4 – Структурна схема регулювання частоти обертів

1). Насоси – це гідравлічні машини, які перетворюють механічну енергію двигуна в енергію рідини, що переміщується, за рахунок підвищення її тиску.

До основних характеристик насосів відносяться: продуктивність Q , та напір H які суттєво залежить від частоти обертів валу двигуна ω , їх можна розрахувати за наступними формулами [6]:

$$\frac{Q}{Q_n} = \frac{\omega}{\omega_n}, \quad (1)$$

$$H = F_n \left(\frac{Q}{Q_n} \right) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2)$$

де $g=9.81$, $[m/s^2]$ - прискорення вільного падіння; ρ - середня щільність води у насосі, $[kg/m^3]$; Q, Q_n - продуктивність насосу фактична та номінальна, $[m^3/h]$; ω, ω_n - число обертів ротору насосу фактичне та номінальне, $[ob/m]$; H - напір насосу, $[m. вод. ст.]$, $F_n(Q/Q_n)$ - описує номінальну робочу напірну характеристику насосу [7].

Для опису насосу зазвичай використовують напірно-витратну характеристику яку можна визначити за паспортними даними для окремого насосу.

2). Двигун, що обертає насос, зазвичай при моделюванні задають як інерційну ланку першого порядку, якій відповідає рівняння:

$$T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_M u, \quad (3)$$

де T_M - постійна часу виконавчого механізму; k_M - коефіцієнт посилення.

3). Система автоматичного регулювання частоти може здійснювати управління за допомогою ПІД-закону, якому відповідає рівняння:

$$u = K_p \omega + K_I \int \omega dt + K_D \frac{d\omega}{dt}, \quad (4)$$

де u - сигнал керування, що формується регулятором; K_p , K_I та K_D - коефіцієнти налаштування регулятора.

2. Математичний опис системи трубопроводів.

Трубопроводи у ЗЗС використовуються різних діаметрів D та довжин L . Їх можна представити за допомогою узагальненої схеми, як наведено на рис. 5.

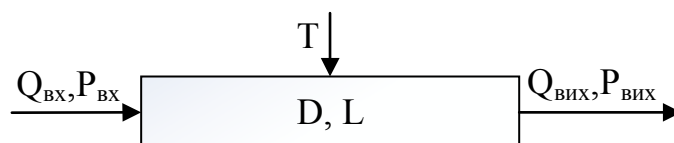


Рисунок 5 – Схематичне зображення трубопроводу

З урахуванням зробленого припущення, що втрати рідини при проходженні через трубопровід відсутні, можемо визначити, що витрати не змінюються по всій довжині трубопроводу, $Q_{вх} = Q_{вих}$.

Втрати тиску $\Delta P = P_{вх} - P_{вих}$ в трубопроводі на тертя потоку води о стінки трубопроводу визначаються діаметром трубопроводу, матеріалом з якого він виготовлений, і швидкістю води через трубопровід, та визначається як:

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho [\text{Па}], \quad (5)$$

де L – довжина трубопроводу, м; V – середня швидкість, м/с; D – діаметр трубопроводу, м; ρ – густина рідини, кг/м³; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, який визначається наступним чином:

$$\lambda = \frac{1}{(1.81 \lg \text{Re} - 1.5)^2}, \quad \text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}, \quad (6)$$

де V – швидкість руху рідини, м/с; D – внутрішній діаметр труби, м; ν – кінематична в'язкість води, м²/с, яка має суттєву залежність від температури рідини [8].

При зміні температури рідини у рамках від 5 до 25 °C значення кінематичної в'язкості можуть змінюватись понад 40%, що обумовлено зміною питомих втрат тиску та коефіцієнту гідравлічного тертя майже на 10%.

3. Модель запірної арматури.

Запірна арматура, що може функціонувати автоматично, має у своєму складі заслінку (шаровий кран), двигун, частотно-керуючий перетворювач та редуктор, схематичне зображення приведено на рис. 6.

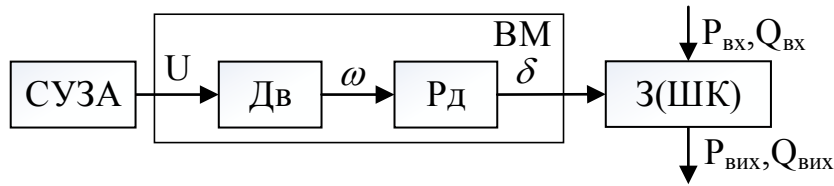


Рисунок 6 – Схематичне зображення запірної арматури

1). Двигун приводу запірної арматури сумісно з частотно-керуючим перетворювачем будемо вважати безінерційною ланкою, оскільки динамічні процеси розгону та гальмування двигуна значно швидші, ніж відкриття/закриття запірної арматури [9], тобто $\omega = K_{\delta} U_{за}$.

Передаточна функція двигуна:

$$W_{\delta}(s) = \frac{\omega_{\delta}(s)}{U_{за}(s)} = K_{\delta}, \left[\frac{1}{Bc} \right] \quad (7)$$

де ω_{δ} – частота обертання валу двигуна, K_{δ} – коефіцієнт передачі ланки «перетворювач-двигун», $U_{за}$ – напруга задана на вході перетворювача частоти.

2). Кут повороту валу редуктора, а також засувки описуються інтегральним рівнянням [10]:

$$\delta_{за}(t) = K_{за} \int_0^{t_0} \omega_{\delta}(t) dt. \quad (8)$$

Тоді передаточна функція валу редуктора та шарового крану має вид:

$$W_{за}(s) = \frac{\delta_{за}(s)}{\omega_{\delta}(s)} = \frac{K_{за}}{s}. \quad (9)$$

Залежність між витратами води та кутом повороту запірної арматури має вигляд:

$$Q(t) = Q_{\max} f\left(\frac{\delta_3}{\delta_{3\max}}\right). \quad (10)$$

Або для лінійного випадку:

$$Q(t) = Q_{\max} \cdot \delta_3 / \delta_{3\max}. \quad (11)$$

Типові графіки залежності витрати від кута повороту $\varphi = f(\delta)$, наведено на рис. 7, де $\varphi = Q/Q_{\max}$ – відносний коефіцієнт витрат; $\delta = \delta_z/\delta_{z\max}$ – відносний коефіцієнт відкриття засуву: [11].

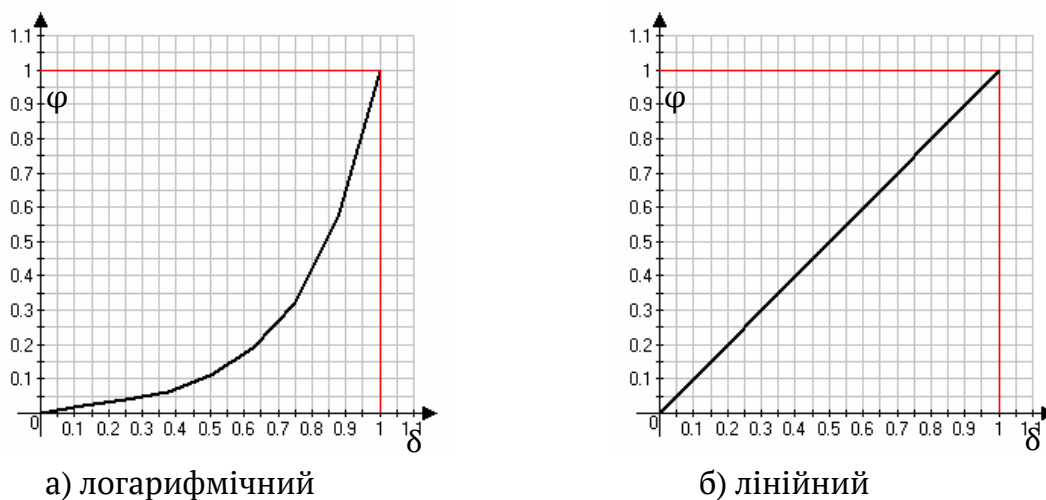


Рисунок 7 – Графік залежності витрати від кута повороту

Проаналізувавши складові моделі ЗЗС як об'єкту управління, можна виділити вхідні, вихідні та внутрішні параметри системи.

Вхідними параметрами, які діють на систему є:

- 1) схема розташування активного зрошувального обладнання S , яка задається оператором згідно плану поливів;
- 2) сигнал завдання витрат рідини Q_z необхідних для зрошення агрокультур, який задається оператором згідно плану поливів;
- 3) сигнал завдання тиску P_z необхідного для коректної роботи зрошувального обладнання, який задається оператором згідно технічних характеристик зрошувального обладнання;
- 4) сигнал з датчиків температури T , розташованих у водоймі з якої йде забір води для поливу, перейдеться автоматично.

До вихідних параметрів системи відносяться:

- 1) тиск на різних ділянках трубопроводу,
- 2) напір P_{Π} та витрати Q_{Π} рідини, що подаються на ДМУ.

До внутрішніх параметрів системи відносяться:

- 1) частота обертів валу двигуна/насосу насосної станції;
- 2) кут відкриття засувки на вході в зрошувальний трубопровід;
- 3) кількість активного зрошувального обладнання.

Ефективне керування технологічним обладнанням повинне забезпечити рівномірність та виконання норм поливу згідно плану зволоження ґрунту.

Висновки. Математична модель ЗЗС побудована з розглянутих моделей компонентів, надає можливість аналізувати процеси, що протікають в системі, та оцінювати ефективність методів керування, що розробляються.

Для визначення адекватності математичної моделі, яка створюється за запропонованим підходом, доцільно здійснити імітаційне моделювання роботи ЗЗС для реальних умов в різних режимах роботи.

Для визначення властивостей ЗЗС як об'єкта керування, таких як інерційність, керованість, стійкість, спостережливість, необхідно отримати модель комплексу у просторі станів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. Указ Президента України від 24.05.2012 р. № 4836.
2. Гурин В.А., Степаненко М.Г., Степаненко М.П. Технологія зрошування: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.
3. Полетаев Ю.Б., Криулин К.Н., Патрина М.Ю. Орошение дождеванием: учебное пособие – СПб: гос. Политехн. ун-т, 2003. – 53 с.
4. Гурин В.А., Степаненко М.Г., Степаненко М.П. Технологія зрошування: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.
5. Карпенко С.Л., Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В., Рудакова А.А., Моделювання схеми розташування активного дощувального обладнання закритої зрошувальної системи. Системні технології. 2021. Вип. 2(133). С. 89–96.
6. Ледуховский Г. В., Поспелов А. А. О расчете рабочих характеристик центробежных насосов с частотным регулированием производительности. Новости Теплоснабжения. 2013. Вип. 10(158). С. 38-41.
7. Колесников А. И., Федоров М.Н., Варфоломеев Ю.М. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учебное пособие – М.: ИНФРА-М, 2005. – 124 с.
8. Карпенко С.Л., Рудакова Г.В., Поліщук В.М. Моделювання впливу зовнішніх факторів на гідравлічні характеристики закритої зрошувальної системи. Прикладні питання математичного моделювання. 2021. Т.4, №2.1, С. 119-127.
9. Шаров В.С. Сверхвысокоточные асинхронные электродвигатели. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 288 с.

10. Чумаков Г.А., Луняка К.В., Кривенко С.В. Курс лекцій з дисципліни “Гідравліка і гідро-, пневмопривод”: навчальний посібник –Херсон:ХНТУ, 2009.– 121 с.
11. РД РТМ 26-07-254-83 Гидравлические характеристики и методика расчета гидродинамических компонентов шаровых регулирующих и запорных кранов. [Действительный от 01.07.1984]. Москва, 1984. 18 с. (Информация и документация).

REFERENCES

1. National target program for the development of water management and environmental rehabilitation of the Dnieper River basin for the period up to 2021. Decree of the President of Ukraine of 24.05.2012 № 4836.
2. Gurin VA, Stepanenko MG, Stepanenko MP Irrigation technology: a textbook. - Rivne: NUVGP, 2013. - 382 p.
3. Poletaev Yu.B., Kriulin KN, Patrina M.Yu. Irrigation by sprinkling: a textbook - St. Petersburg: state. Polytechnic University, 2003. - 53 p.
4. Gurin VA, Stepanenko MG, Stepanenko MP Irrigation technology: a textbook. - Rivne: NUVGP, 2013. - 382 p.
5. Karpenko SL, Lebedenko YO, Rudakova GV, Rudakova AA, Modeling the layout of active sprinkler equipment of a closed irrigation system. System technologies. 2021. Issue. 2 (133). Pp. 89–96.
6. Ledukhovskiy GV, Pospelov AA On the calculation of the operating characteristics of centrifugal pumps with frequency control of productivity. Heat supply news. 2013. Vip. 10 (158). Pp. 38-41.
7. Kolesnikov AI, Fedorov MN, Varfolomeev Yu.M. Energy saving in industrial and municipal enterprises: a textbook - M.: INFRA-M, 2005. - 124 p.
8. Karpenko SL, Rudakova GV, Polishchuk VM Modeling the influence of external factors on the hydraulic characteristics of a closed irrigation system. Applied questions of mathematical modeling. 2021. Vol.4, №2.1, pp. 119-127.
9. Sharov VS Ultra-high precision asynchronous electric motors. - M.: Gosenergoizdat, 1963. - 288 p.
10. Chumakov GA, Lunyaka KV, Krivenko SV Course of lectures on the subject "Hydraulics and hydro-, pneumatic drive": textbook - Kherson: KhNTU, 2009. - 121 p.
11. RD RD 26-07-254-83 Hydraulic characteristics and methods of calculation of hydrodynamic components of ball regulating and shut-off valves. [Valid from 01.07.1984]. Moscow, 1984. 18 p. (Information and documentation).

Received 17.03.2022.
Accepted 23.03.2022.

Mathematical model of closed irrigation system as an object of control

Irrigation machines of the Frigate series are mainly used in closed irrigation systems in the south of Ukraine. During the operation of such systems there are problems with pressure control in the system, the problem of remote control of irrigation. A possible solution to these problems is to control the pressure in the water supply line of sprinklers, by automatically controlling the pumping equipment and installing appropriate sensors (pressure, flow meters, etc.) for feedback to the control system. By controlling the pumping equipment that creates pressure in the mains, it is possible to ensure proper modes of operation in the water supply mains of the DMU. Appropriate software for statistical data collection and management is also needed to improve watering and remote monitoring of the system.

The aim of the study is to build a mathematical model of a closed irrigation system as an object of management, which will analyze the processes occurring in the system and evaluate the effectiveness of management methods being developed. The article considers the scheme of relationships between the main components of a closed irrigation system such as pump unit, distribution and irrigation pipeline, shut-off valves, universal sprinklers, control system with further mathematical description of each component. The main parameters of the system that affect its operation are identified. Set quality indicators that are put forward to the control system. The system as an object of control is analyzed, input, output and internal parameters of the system are revealed.

The mathematical model of ZSS is built from the considered models of components, gives the chance to analyze the processes proceeding in system, and to estimate efficiency of the management methods developed. To determine the adequacy of the mathematical model, which is created by the proposed approach, it is advisable to simulate the operation of the ZSS for real conditions in different modes of operation. To determine the properties of ZSS as an object of control, such as inertia, controllability, stability, observation, it is necessary to obtain a model of the complex in the space of states.

Карпенко Сергій Леонідович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Рудакова Ганна Володимирівна – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Karpenko Serhii – graduate student of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics, Kherson National Technical University.

Rudakova Hanna – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics, Kherson National Technical University.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ СЕРВЕРНИХ WEB-ДОДАТКІВ»

Анотація. У сучасному світі використання веб-додатків постійно зростає, збільшується їх кількість, але постає питання як вони функціонують та як їх створювати. Якраз навчальний курс «Програмні засоби створення серверних веб-додатків» покликаний розв'язати цю проблему. У статті представлено мету навчальної дисципліни та поетапно описується лекційний матеріал. Засвоєння лекційного матеріалу підкріплюється виконанням лабораторних робіт.

Ключові слова: серверні веб-додатки, мова PHP, технологія AJAX, MySQL, інформаційна безпека, usability, SEO.

Вступ. Вплив глобальної комп'ютерної мережі Internet на сучасний світ немає історичних аналогів. Цілком логічно припустити, що з погляду реклами продукції чи послуг Інтернет – найбільш значущий ресурс. Більшість сучасних людей користуються Інтернетом як найбільш доступним джерелом інформації.

Web-технологія повністю перевернула уявлення про роботу з інформацією та й з комп'ютером взагалі. Виявилось, що традиційні параметри розвитку обчислювальної техніки – продуктивність, пропускна здатність, ємність пристроїв – не враховували головного "вузького місця" системи – інтерфейсу з людиною. Застарілий механізм взаємодії людини з інформаційною системою стримував впровадження нових технологій та зменшував вигоду від їх застосування. І тільки коли інтерфейс між людиною і комп'ютером був спрощений до природності сприйняття звичайною людиною, стався безпрецедентний вибух інтересу до можливостей обчислювальної техніки.

Створення Web-додатків одна із найважливіших технологій розробки ресурсів Internet. Хороший сайт, вбираючи всю корисну інформацію, є кращою візитною карткою і для комерційної фірми, і для освітньої установи, працюючи на них у будь-який час доби.

Але ще цікавим є розробка власних Web-додатків, у яких є всі необхідні функціональні можливості. Веб-технології постійно розвиваються, надаючи

можливість будь-якому користувачеві створити власний програмний продукт як для вузького, так і для широкого кола користувачів. Тому питання як навчити створенню веб-додатків є актуальним.

Питання розробки додатків досліджуються вченими ще з часів виникнення Інтернет, зокрема, в [1] розглядаються основні поняття з якими стикаються веб-розробники, в [2] проводиться оцінка ризиків безпеки веб-додатків та безпечних шаблонів проектування, а [3] розглядає як нейтралізувати атаки SQL Injection з використанням модифікації коду на стороні сервера у веб-додатках. Робота [4] знайомить з підходом до аутентифікації повідомлень для запобігання атак у веб-додатках. Розробка прогресивних веб-додатків досліджується роботою [5]. Стаття [6] представляє еволюцію розвитку web та аналізує наукові праці про веб-додатки (створення, класифікацію, використання) та інші. Але незважаючи на значну увагу вчених до цих питань, вважаємо актуальним запропонувати авторське бачення особливостей викладання дисципліни «Програмні засоби створення серверних web-додатків».

Мета статті – обґрунтування особливостей та необхідність викладання навчальної дисципліни «Програмні засоби створення серверних web-додатків».

Основна частина. Навчальний курс «Програмні засоби створення серверних web-додатків» є дисципліною вільного вибору студентів.

Метою викладання навчальної дисципліни «Програмні засоби для створення серверних web-додатків» є здобуття системи знань з технології розробки веб-додатків та їх практичного використання при побудові сайтів та сервісів, вибору і застосуванню сучасних технологій, навчання грамотно вибирати і застосовувати сучасні мови веб-програмування; навчання основам проектування та створення веб-баз даних.

Викладання дисципліни починається з теми «Сучасні технології веб-програмування». Розглядаються протоколи передачі даних, принципи роботи Інтернету. Вивчаються способи обміну даними в рамках протоколу HTTP із застосуванням HTML-форм та CGI-скриптів. Надається опис специфікації Common Gateway Interface(CGI), варіанти та особливості її застосування для різних методів доступу [7, 8].

Розглянуто загальні принципи клієнт-серверних технологій. Огляд web-серверів і технологій програмування серверних додатків. Описано принципи роботи веб-додатків, структуру веб-додатків, визначено поняття «веб-форма» та компоненти веб-форм. Викладення матеріалу спирається на безліч прикладів.

Наступним етапом курсу є вивчення мови програмування PHP. Знайомство з історією мови; опис її можливостей (короткий перелік платформ, протоколів і функцій, які підтримуються PHP); сфери застосування (як серверне застосування, в командному рядку); способи використання (як PHP вбудовується в html-код і прості приклади).

Далі проводиться знайомство з основами синтаксису PHP. Розглядаються способи розділення інструкцій, створення коментарів, змінні, константи. Вирази і операції на мові PHP. Типи даних на мові PHP. Змінні оточення сервера. Зумовлені змінні [7, 8].

Наступною темою є «Керуючі конструкції мови PHP». Умовні оператори (if, switch), робота з циклами (while, for, foreach) і використання функцій include, require. Вихід з керуючої структури або сценарію.

Наступною темою є «Обробка запитів за допомогою PHP». В лекціях розглядаються способи відправки даних на сервер і їх обробка за допомогою PHP. Розглядаються основні поняття клієнт-серверних технологій. Проводиться знайомство з поняттями HTML-форми і відправка даних за її допомогою. Надається коротка характеристика методів Post і Get. Розглядається механізм отримання даних з HTML-форм і їх обробка за допомогою PHP.

Однією з важливих тем є «Функції в PHP». Студенти знайомляться з поняттями функції, функції, визначені користувачем, аргументи функцій, передача аргументів за значенням і за посиланням. Стандартні функції PHP. Функції і області видимості. Створення функцій. Аргументи функції. Значення, що повертаються[7, 8].

Масиви досить часто реалізуються в скриптових мовах, якою є PHP. Тому студенти докладно вивчають масиви і функції, вбудованих в PHP для роботи з ними. Розглядаються функції для пошуку елементів в масиві, для сортування елементів масиву, а також застосування створених користувачем функцій до всіх елементів масиву, розбивка масиву на подмасиви і інше. Чисельно-індексовані та асоціативні масиви. Доступ до елементів масиву.

В темі «Робота з рядками, регулярні вирази» детально обговорюються питання роботи з рядками, вивчаються функції, корисні для вирішення різноманітних прикладних задач. Розглядаються різні способи виведення рядків, розбивка і з'єднання рядків (функції explode, implode), визначення довжини рядка (strlen), виділення підрядка (strpos, substr). Розбирається поняття регулярного виразу, реалізація механізму регулярних виразів в мові PHP, їх синтаксис і семантика.

В темі «Робота з файловою системою» студенти опановують навігацію у файлової системи. Функції аналізу файлів. Доступ до файлів. заборона доступу. Створення файлів, читання даних з файлу, видалення файлу, а також перевірка наявності файлу на сервері. (Функції fopen, fwrite, fclose, file, fget, unlink, file_exists.). Формати файлів[7, 8].

Особлива увага приділяється можливостям **об'єктно-орієнтованого програмування** в PHP. В лекції студенти знайомляться з базовими поняттями ООП. Розробка класів. Якість коду. Звичайні та магічні методи. Спадкування. Інтерфейси. Трейти.

Далі йде цикл лекцій «Основи MySQL. Робота з базами даних». Розглянуто поняття бази даних, принципи їх використання та концепції. Основна увага приділяється реляційній БД MySQL. Типи даних. Таблиці. Ключі. Відносини. Реляційні операції. Проектування баз [7,8].

Особлива увага приділяється темі «Мова SQL. Робота з базами даних». Спеціалізована мова SQL (від англ. Structured Query Language) може використовуватися з різними базами даних, тому студенти знайомляться з такими питаннями: інструкції SQL; створення баз даних; створення таблиць; завантаження даних в таблицю; запити до баз даних; витяг даних з бази даних та узагальнення даних; нормалізація.

Для практичного використання роботи з сервером MySQL розглядається тема «Підтримка MySQL в PHP». Доступ до бази даних MySQL з Web за допомогою PHP. З'єднання з базами даних. Вибірка і модифікація даних. Безпека. Аутентифікація за допомогою PHP і MySQL. Описано прийоми роботи та адміністрування баз даних за допомогою MySQL та програми phpMyAdmin.

Далі йде тема «Основи роботи з сервером». Розглядається взаємодія з файловою системою і сервером. Завантаження файлів на сервер. Завантаження методом POST. Реалізація PHP-коду для роботи з файлом. Перевірка завантажених файлів. Робота з зображеннями. Установка cookie-наборів. Сесії.

Окрема тема приділяється вивченню технології AJAX (від англ. Asynchronous Javascript And XML - Асинхронні Javascript і XML). Якщо в стандартному web-додатку обробкою всієї інформації займається сервер, тоді як браузер відповідає тільки за взаємодію з користувачем, передачу запитів і виведення HTML, то в Ajax-додатку між користувачем і сервером з'являється ще один посередник - движок Ajax. Він визначає, які запити можна обробити "на місці", а за якими потрібно звертатися на сервер. Поведінка сервера також змінилася. Якщо раніше на кожен запит сервер видавав нову сторінку, то тепер він

відсилає ті дані, які потрібні клієнту, а HTML з них прямо в браузері формує движок Ajax[9].

Асинхронність проявляється в тому, що далеко не кожен клік користувача доходить до сервера, причому зворотне теж справедливе - далеко не кожна реакція сервера обумовлена запитом користувача. Більшість запитів формує движун Ajax, причому його можна написати так, що він буде завантажувати інформацію, передбачаючи дії користувача.

Підхід, заснований на базі AJAX, дозволяє підвищити інтенсивність обміну даними між користувачем і серверним додатком, тим самим зменшувати час простою сервера і, що головне, покращувати дружність інтерфейсу. Завдяки асинхронному взаємодії інтерфейсу з серверної частиною користувачеві відкриваються нові грані зручності.

Технологія AJAX може завантажувати дані трьох різних типів: фрагменти HTML-кода або звичайний текст; дані, які закодовані за допомогою мови XML; дані, які закодовані у форматі JSON.

Тому подальші лекції присвячені знайомству з розширюваною мовою розмітки XML. Розглянуто характеристики мови XML, створення XML-даних, розміщення атрибутів у екземплярі XML, сім'я XML-технологій, створення і перегляд XML-документа, додавання коментарів, правильні екземпляри XML, структура документа, структура даних.

Наступна лекція знайомить студентів з форматом JSON (JavaScript Object Notation) – це текстовий формат обміну даними. Незважаючи на походження від JavaScript, формат вважається мовно-незалежним і може використовуватись практично з будь-якою мовою програмування. Для багатьох мов існує готовий код для створення та обробки даних у форматі JSON. JSON будується на двох структурах даних: набір пар ім'я/значення; пронумерований набір значень.

У сучасному світі важлива тема «Основи інформаційної безпеки мережних систем». Подано загрози інформаційної безпеки веб-додатків (міжсайтовий скриптинг (XSS), SQL-ін'єкція, CRLF-атака, XXE, CSRF, DDoS-атака), описано способи запобігання вищезазначених загроз, описано пошук вразливості веб-ресурсу, інструменти для аналізу захищеності веб-додатків (додатки, фреймворки, онлайн-сервіси), захист із використанням HTTPS, оновлення програмного забезпечення, запобігання SQL-ін'єкції, XSS, перевірка і шифрування паролів, контролювання процесу завантаження файлів, заходи захисту веб-додатків для власників серверів.

Окрема тема присвячена правильній структурі сайтів з урахуванням принципів SEO (search engine optimization - пошукова оптимізація сайту). Основна мета SEO - залучення цільових відвідувачів на сайт з пошукових систем.

Структура сайту є найважливішим технічним інструментом із погляду SEO. Неправильна побудова структури сайту значно ускладнює просування користувачів сайтом. Тому при розробці архітектури ресурсу, необхідно аналізувати розміщення кожного розділу та підрозділу, щоб усе зробити грамотно, задовольнивши потреби користувача та відповівши на вимоги пошукових робіт.

Окрема тема присвячена основним принципам Usability: від особливостей дизайну до контенту, від інтерфейсу форми замовлення до пошуку. Юзабіліті (від англ. Usability - "зручність використання") - це якісна оцінка простоти і комфорту роботи з сайтом. Користувач повинен легко знаходити потрібну інформацію, не губитися у функціоналі і численних сторінках, і при цьому отримувати естетичне задоволення від роботи з ресурсом. Студентам треба розуміти, що головна мета творців сайту – це зацікавити користувача. Тобто треба мати на увазі при створенні сайтів: логічність та простота розташування різних графічних елементів; простота та зручність навігації; продуманість розташування елементів керування; загальна легкість сприйняття дизайну інтернет-ресурсу. У сукупності все перераховане та визначає юзабіліті сайту

Навчальний курс «Програмні засоби створення серверних web-додатків» містить лабораторні роботи, на яких закріплюється лекційний матеріал. Кожна лабораторна робота складається з мети, програмного забезпечення, теоретичних відомостей, завдань для виконання, списку використаних джерел.

Висновки. Отже, навчальний курс «Програмні засоби створення серверних web-додатків» покликаний навчити студентів розробляти власні сайти та web-додатки та використовувати їх у професійній діяльності. Перспективи подальшого вдосконалення викладання дисципліни вбачаємо в доповненні сучасним матеріалом по web-технологіям, які стрімко розвиваються.

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Grigorik I. High Performance Browser Networking: What every web developer should know about networking and web performance. Sebastopol, O'Reilly Media, 2013. 400 p.
2. Dalai A. K., Jena S. K. Evaluation of web application security risks and secure design patterns. ACM International Conference Proceeding Series. 2011. P. 565–568. DOI: 10.1145/1947940.1948057

3. Dalai A. K., Jena S. K. Neutralizing SQL injection attack using server side code modification in web applications. Security and Communication Networks. 2017. Vol. 2017. DOI: 10.1155/2017/3825373
4. Dalai A. K., Panigrahy S. K., Jena S. K. A novel approach for message authentication to prevent parameter tampering attack in web applications. Procedia Engineering. 2012. Vol. 38, P. 1495-1500. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.06.184
5. Majchrzak T. A., Biørn-Hansen A., Grønli T.-M. Progressive Web Apps: the Definite Approach to Cross-Platform Development? Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences. 2018. Hawaii International Conference on System Sciences. DOI: 10.24251/hicss.2018.718
6. Murugesan S., Rossi G., Wilbanks L., Djavanshir R. The future of web apps. IT Professional. 2011. Vol. 13(5). P. 12-14. DOI: 10.1109/MITP.2011.89
7. Welling L. PHP and MySQL Web Development/ L. Welling, L. Thomson - 5th ed. – Addison-Wesley, 2017. - 768 p.
8. Nixon R. Learning PHP, MySQL & JavaScript: A Step-by-Step Guide to Creating Dynamic Websites /R. Nixon. - 6th ed. - O'REILLY, 2021. -826 p.
9. AJAX and PHP [Electronic resource]. Access mode: [https:// www.3wschools.com](https://www.3wschools.com)

Received 24.03.2022.

Accepted 28.03.2022.

Features of teaching the course of study

"Software tools for creating server web applications"

Modern technologies for creating and maintaining web applications are focused on platforms that allow you to effectively manage the content and data coming from visitors.

One of the popular technologies for creating web pages with code snippets running on a server is PHP (Personal Home Pages). This technology is based on the use of CGI applications that interpret embedded HTML page code in a scripting language. The main feature of the PHP language is its practicality. PHP provides the programmer with a tool to quickly and efficiently solve problems. It is characterized by exceptional flexibility to the needs of the developer.

When teaching the course of study "Software tools for creating server-side web applications" the main attention is paid to the study of PHP language.

Students are also introduced to the SQL language and the MySQL database management system.

A separate topic is the study of AJAX technology. The AJAX-based approach allows you to increase the intensity of data exchange between the user and the server application, thereby reducing server downtime and, most importantly, improve the friendliness of the interface. Due to the asynchronous interaction of the interface with the server part, the user opens up new facets of convenience.

Several lectures are devoted to the basics of information security. Web application information security threats (cross-site scripting (XSS), SQL injection, CRLF attack, XXE, CSRF, DDoS

attack), ways to prevent the above threats; search for web resource vulnerabilities, security analysis tools web applications.

During the lectures, attention is paid to the correct structure of sites, taking into account the principles of SEO and the basic principles of Usability - a qualitative assessment of the simplicity and comfort of working with the site.

Thus, the educational course "Software tools for creating server web-applications" is designed to teach students to develop their own sites and web-applications and use them in professional activities. Prospects for further improvement of teaching the course of study we see in the supplemented with modern material on web-technologies that are developing rapidly.

Матвєєва Наталія Олександрівна – доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Matveeva Nataliya Olexandrivna — candidate of technical sciences, associate professor of the department of electronic computers of the faculty of physics electronics and computer systems of the Oles Honchar Dnipro National University.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ВАРІАНТУ ВИЗНАЧЕННЯ АТАК З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Сучасний світ неможливо уявити без комп'ютерних мереж: як локальних, так і глобальних; тому питання мережевої безпеки стає все більш злободенним. Наразі методики виявлення атак можна підсилити використанням нейронних мереж, що підтверджує актуальність теми. Мета дослідження є порівняльний аналіз параметрів якості визначення мережевих атак з використанням комбінованого варіанту, що складається із різних нейронних мереж. У якості методів дослідження використані: нейронечітка мережа; багат шаровий перцептрон; самоорганізуюча карта Кохонена. Програмна реалізація самоорганізуючої карти Кохонена здійснена мовою Python з широким спектром сучасних стандартних засобів, створення багат шарового перцептрону та нейронечіткої мережі – за допомогою пакетів Neural Network Toolbox та Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB. На створених нейронних мережах окремо та на їх комбінованому варіанті проведені дослідження параметрів якості визначення мережевих атак. Визначено, що помилка першого роду склала 11 %, 4 %, 10 % і 0 %, помилка другого роду – 7 %, 6 %, 9 % і 6 % на нейронечіткій мережі, багат шаровому перцептроні, самоорганізуючої карти Кохонена та їх комбінованому варіанті відповідно, що доказує доцільність використання комбінованого варіанту.

Ключові слова: атака, категорія, клас, перцептрон, нейронечітка мережі, самоорганізуюча карта Кохонена, комбінований варіант, параметри якості.

Постановка проблеми. З розвитком технологій та комп'ютерних мереж збільшилися випадки на них атак, але не завжди встановлені засоби захисту справляються з своєю задачею. Для того, щоб швидко та точно виявляти атаки, навіть які з'явилися щойно, доречно використання нейромережної технології. Дослідження мережевих атак доцільно проводити на двох рівнях: визначення категорії атаки (на першому рівні) та визначення мережевого класу відповідно до категорії (на другому рівні) [4, 13]. Відомо, що атаки поділяються на наступні категорії: DoS (back, land, neptune, pod, smurf, teardrop); U2R (buffer_overflow, loadmodule, perl, rootkit); R2L (ftp_write, guess_passwd, imap, multihop, phf, spy, warezclient, warezmaster); Probe (ipsweep, nmap, portsweep, satan). Ці класи

представлені у базі даних NSL-KDD [9], яка є поліпшеною версією KDD-99. Загальна схема виявлення мережевих атак з використанням нейронних мереж (НМ) представлена на рис. 1.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконаний огляд наукових джерел [1-8, 10-13] показав можливість використання наступних НМ: багатошарового перцептрон (Multi Layer Perceptron, MLP); радіально-базисної мережі (Radial Basis Function Network, RBF); самоорганізуючої карти Кохонена (Self Organizing Maps, SOM); нейронечіткої мережі (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS) щодо виявлення атак на комп'ютерну мережу. У лабораторії штучних нейронних мереж Брестського державного технічного університету пропонувалися різні підходи до побудови систем виявлення атак за допомогою нейромережевих технологій. Наприклад, комбінуючи MLP та рециркуляційну НМ науковці змогли отримати потужний інструмент для виявлення та класифікації атак [5]. У роботі [2] запропонували технологію нейромережевого моніторингу мережевих атак з використанням IDS Snort; для нейромережевого моніторингу використовувалася наступна комбінація: рециркуляційна НМ; MLP; SOM. У роботі [6] запропонований комбінований варіант, що складався із наступних нейронних мереж: MLP; мережі RBF; SOM, а в роботі [7] – комбінований варіант, що складався із використання ANFIS та мережі RBF.

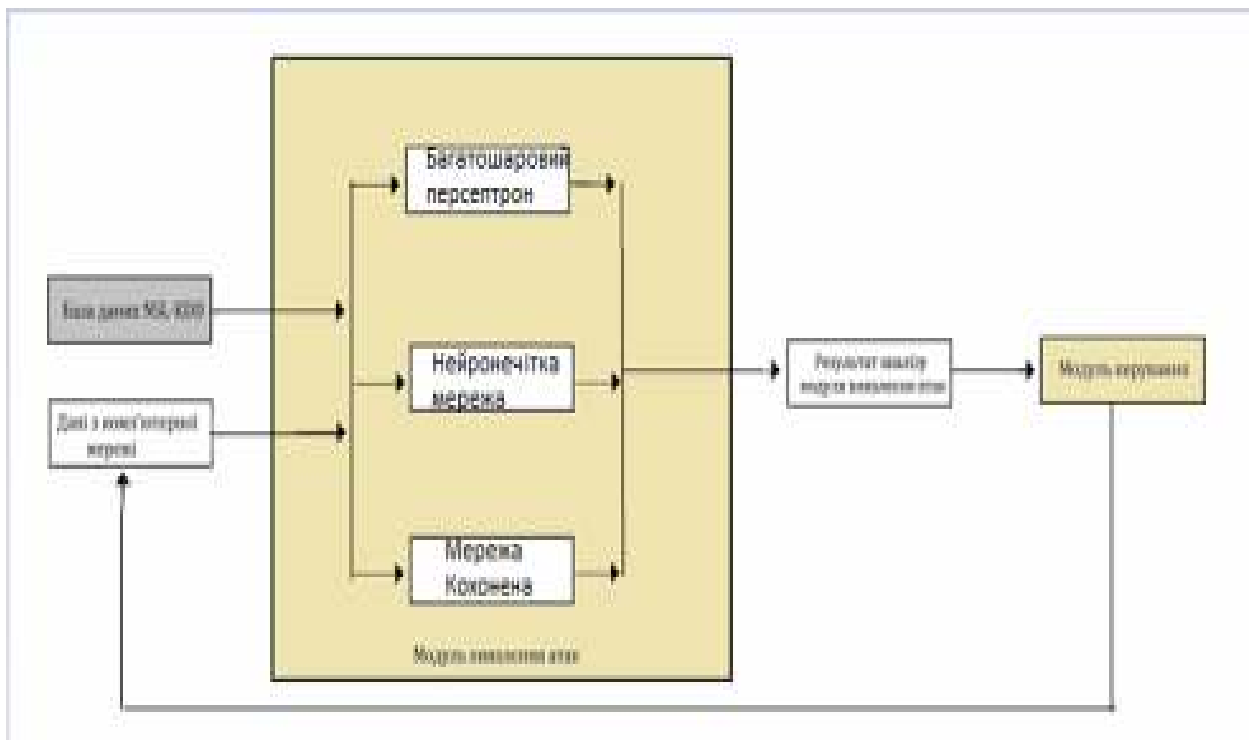


Рисунок 1 – Загальна схема виявлення мережевих атак

Мета дослідження є порівняльний аналіз параметрів якості визначення мережових атак з використанням комбінованого варіанту, що складається із наступних нейронних мереж: ANFIS; MLP та SOM.

Основний матеріал дослідження. Для визначення ступеню впевненості здійснення атаки створена за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox в MatLAB ANFIS конфігурації 4-5-8-16-1, де 4 – кількість вхідних нейронів (кількість з'єднань на хост в поточній сесії за останні 2 с, відсоток з'єднань з хостом з count з SYN-помилками, відсоток з'єднань з різними сервісами, відсоток з'єднань з різними службами за час з'єднань по IP); 5 – загальна кількість шарів; 8 – кількість нейронів першого прихованого шару; 16 – кількість нейронів другого прихованого шару; 1 – кількість результуючих нейронів (терми: низький, середній, високий); у якості функції приналежності вхідних нейронів взято Гаусовську функцію. На створеній ANFIS проведено дослідження похибки на вибірках різної довжини: 500; 5000; 10000 та 15000 прикладів за різними методами оптимізації. Визначено, що найменше значення похибки ANFIS склало за методом Hybrid.

Для визначення категорій атак створений в MatLAB MLP конфігурації 41-1-30-5, де 41 – кількість вхідних нейронів (параметрів мережевого трафіку), 1 – кількість прихованих шарів, 30 – кількість прихованих нейронів, 5 – кількість результуючих нейронів; у якості функції активації нейронів прихованого шару взято гіперболічний тангенс, результуючого шару – лінійну функцію. На MLP проведено дослідження похибки та кількості епох на вибірках різної довжини за різними алгоритмами навчання: Levenberg-Marquardt; Bayesian Regularization; Scaled Conjugate Gradient. Визначено, що найменше значення похибки отримане за методом Levenberg-Marquardt.

Для визначення категорій атак створена в Python програма «SOM» з використанням апарату самоорганізуючої карти (шар Кохонена із п'яти нейронів), на вхід якої подаються 41 параметр мережевого трафіку, та наступних бібліотек: MiniSom, Matplotlib та Numpy. На програмі «SOM» проведені дослідження помилки квантування при різних розмірах карти: 30x30; 50x50; 70x70; 100x100. Визначено, що досить мати карту 70x70 (вибірка із 15000 прикладів), при якій помилка квантування склала 0,07.

При дослідженні розглянутий комбінований варіант ANFIS+MLP+SOM, процес отримання результуючого вектора для якого представлений на рис. 2; контрольна вибірка складалася із 50 прикладів.

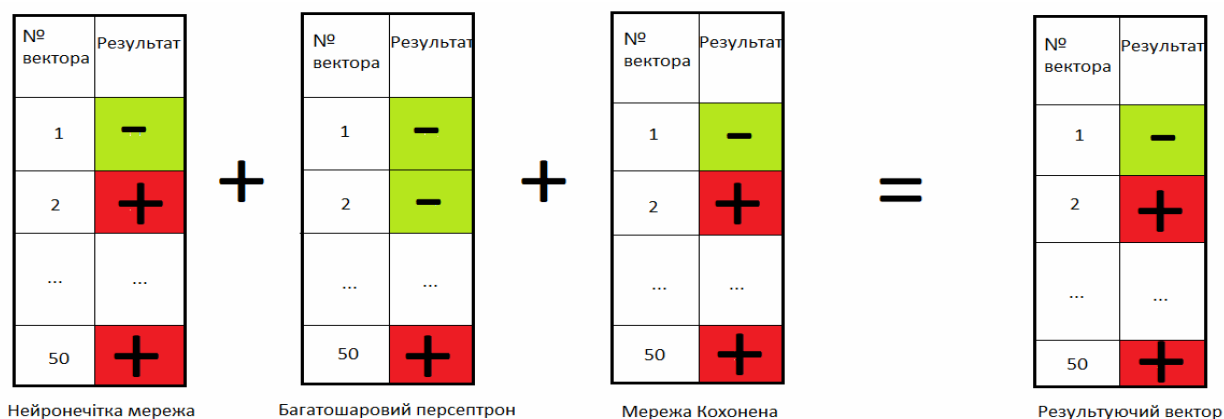


Рисунок 2 – Спрощене представлення формування результуючого вектора:

«-» - атаки не було; «+» - атака відбулась

Усі показники оцінки якості виявлення мережевих атак на основі НМ окремо та їх комбінованого варіанту зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Показники оцінки якості рішень за різними підходами

Показник	TP	FP	FN	TN	TPR	FPR	Accuracy	Precision	Recall
<u>ANFIS</u>	<u>17</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>27</u>	<u>0,81</u>	<u>0,07</u>	<u>0,88</u>	<u>0,89</u>	<u>0,81</u>
<u>MLP</u>	<u>22</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>27</u>	<u>0,96</u>	<u>0,00</u>	<u>0,98</u>	<u>1,00</u>	<u>0,96</u>
<u>SOM</u>	<u>21</u>	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>27</u>	<u>0,91</u>	<u>0,00</u>	<u>0,96</u>	<u>1,00</u>	<u>0,91</u>
<u>Комбінований варіант</u>	<u>20</u>	<u>0</u>	<u>3</u>	<u>27</u>	<u>0,87</u>	<u>0,00</u>	<u>0,94</u>	<u>1,00</u>	<u>0,87</u>

Із таблиці видно, що комбінований варіант показує наявність атаки на 6 % краще, ніж ANFIS та на 4 % краще, ніж MLP та SOM.

Висновки. Для визначення атак категорій DOS, U2R, R2L, Probe з використанням відкритої бази NSL-KDD та подальшого дослідження обраний комбінований варіант: ANFIS+MLP+SOM. Для визначення ступеню впевненості здійснення атаки створена ANFIS конфігурації 4-5-8-16-1, у якості функції приналежності вхідних нейронів взято Гаусовську функцію. На створений ANFIS проведено дослідження похибки на вибірках різної довжини за різними методами оптимізації. Для визначення категорій атак створений MLP конфігурації 41-1-30-5, у якості функції активації нейронів прихованого шару взято гіперболічний тангенс, результуючого шару – лінійну функцію. На MLP проведено дослідження похибки та кількості епох на вибірках різної довжини за різними алгоритмами навчання. Для визначення категорій атак створена в Python програма «SOM» з використанням апарату самоорганізуючої карти (шар

Кохонена із п'яти нейронів), на вхід якої подаються 41 параметр мережевого трафіку. На програмі «SOM» проведені дослідження помилки квантування при різних розмірах карти. На створених НМ окремо та на їх комбінованому варіанті проведені дослідження параметрів якості: помилки першого та другого роду; коректності визначення мережових атак; помилкових спрацьовувань; достовірності; точності та повноти. Визначено, що помилка першого роду склала 11 %, 4 %, 10 % і 0 %; помилка другого роду – 7 %, 6 %, 9 % і 6 % на ANFIS, MLP, SOM та їх комбінованого варіанту відповідно, що доказує доцільність використання комбінованого варіанту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Браницкий А.А. Обнаружение аномальных сетевых соединений на основе гибридизации методов вычислительного интеллекта: автореф. дис....канд. техн. наук : Санкт-Петербург, 2018. 18 с.
2. Емельянова Ю.Г., Талалаев А.А., Тищенко И. П., Фраленко В. П. Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы. Программные системы: теория и приложения, 2011. № 3(7). С. 3-15.
3. Мустафаев А. Г. Нейросетевая система обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика. Вопросы безопасности, 2016. № 2. С. 1-7. DOI: 10.7256.2409-7543.2016.2.18834
4. Пахомова В. М., Коннов М.С. Дослідження двох підходів до вивлення мережних атак із використанням нейромережної технології. Наука та прогрес транспорту, 2020. №3(87). С. 81-93. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208233>
5. Технологии обнаружения сетевых атак. Брестский государственный технический университет. URL: https://www.bstu.by/~opo/templates_c/%25%25A1%5EA14%5EA14FF5EA%25%25index.html.php
6. Фролов П.В., Чухраев И. В., Гришанов К. М. Применение искусственных нейронных сетей в системах обнаружения вторжений. Системный администратор. 2018. № 9(190). URL: <http://samag.ru/archive/article/3724>
7. Amini M., Rezaeenour J., Hadavandi E. A Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function Networks. International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2016. Vol. 25. Iss. 02. P. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218213015500335>
8. Dhangar K., Kulhare D., Khan A. A Proposed Intrusion Detection System. International Journal of Computer Applications. 2013. Vol. 65, N 23. p.p. 46-50.
9. NSL-KDD dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html>

10. Pakhomova V.M., Bikovska D.G. Investigation of multilayer neural network parameters for determination of R2L category network attacks. Modern engineering and innovative technologies. Germany, Karlsruhe: Sergeieva&Co, «ISE&E». 2021. № 18-02. pp. 39-43. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-18-02-059.
11. Saied A., Overill R. E., Radzik T. Detection of known and unknown DDoS attacks using Artificial Neural Networks. Neurocomputing. 2016. Vol. 172. P. 385–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.101>
12. Zhukovyts'kyi I. V., Pakhomova V. M. Identifying threats in computer network based on multilayer neural network. Наука та прогрес транспорту. 2018. № 2 (74). P. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/130797>
13. Zhukovyts'kyi I. V., Pakhomova V. M., Ostapets D. O., Tsyhanok O. I. Detection of attacks on a computer network based on the use of neural network complex. Наука та прогрес транспорту. 2020. № 5(89). P. 68–79. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/218318>

REFERENCES

1. Branitskiy A.A. Obnaruzhenie anomalnykh setevykh soedineniy na osnove gibridizatsii metodov vychislitel'nogo intellekta (Extended abstract of PhD dissertation). St. Petersburg, Russia, 2018.
2. Emelyanova Yu. G., Talalaev A. A., Tishchenko I. P., Fralenko V. P. Neural network technology for detecting network attacks on information resources. Software systems: theory and applications, 2011. № 3(7). C. 3-15.
3. Mustafaev A. G. Neural network system for detecting computer attacks based on network traffic analysis. Security questions. Вопросы безопасности, 2016. № 2. C. 1-7. DOI: 10.7256.2409-7543.2016.2.18834
4. Pakhomova V. M., Konnov M. S. Research of two approaches to detect network attacks using neural network technologies. Science and Transport Progress, 2020, 3(87), 81-93. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208233>
5. Network attack detection technologies. Brest State Technical University. URL: https://www.bstu.by/~opo/templates_c/%25%25A1%5EA14%5EA14FF5EA%25%25index.html.php
6. Frolov P. V., Chukhraev I. V., Grishanov K. M. Application of artificial neural networks in intrusion detection systems. System administrator, 2018. 9(190). Retrieved from samag.ru/archive/article/3724
7. Amini, M., Rezaeenour, J., Hadavandi, E. A Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection Using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function

- Networks. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 2016. 25(02), 1-32. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218213015500335>
8. Dhangar K., Kulhare D., Khan A. A Proposed Intrusion Detection System. International Journal of Computer Applications. 2013. Vol. 65, N 23. p.p. 46-50.
9. NSL-KDD dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html>
10. Pakhomova V. M., Bikovska D. G. Investigation of multilayer neural network parameters for determination of R2L category network attacks. Modern engineering and innovative technologies. Germany, Karlsruhe: Sergeieva&Co, «ISE&E», 2021. № 18-02. pp. 39-43. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-18-02-059
11. Saied A., Overill R. E., Radzik T. Detection of known and unknown DDoS attacks using Artificial Neural Networks. Neurocomputing, 2016. 172, 385-393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.101>
12. Zhukovyts'kyi I. V., Pakhomova V. M. Identifying threats in computer network based on multilayer neural network. Science and Transport Progress, 2018. 2(74), 114-123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/130797>
13. Zhukovyts'kyi I. V., Pakhomova V. M., Ostapets D. O., Tsyhanok O. I. Detection of attacks on a computer network based on the use of neural network complex. *Hayka ta progres transportu*. 2020. № 5(89). 68-79. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/218318>

Received 28.03.2022.
Accepted 30.03.2022.

***Study of the combined variant of determination of attacks
using neural network technologies***

The modern world is impossible to imagine without computer networks: both local and global; therefore, the issue of network security is becoming increasingly topical. Currently, methods of detecting attacks can be strengthened by using neural networks, which confirms the relevance of the topic. The aim of the study is a comparative analysis of the quality parameters of network attacks using a combined variant consisting of different neural networks. As research methods used: neural network; multilayer perceptron; Kohonen's self-organizing map. The software implementation of the Kohonen self-organizing map is carried out in Python with a wide range of modern standard tools, creation of a multilayer perceptron and a fuzzy network - using Neural Network Toolbox packages, and Fuzzy Logic Toolbox system MatLAB. On the created neural networks separately and on their combined variant researches of parameters of quality of definition of network attacks are carried out. It was determined that the error of the first kind was 11%, 4%, 10% and 0%, the error of the second kind - 7%, 6%, 9% and 6% on the fuzzy network, multilayer perceptron, self-organizing Kohonen map and their combined version, respectively, which proves the feasibility of using the combined option.

Пахомова Вікторія Миколаївна – к.т.н., доц. кафедри електронних обчислювальних машин Українського державного університету науки та технологій (Дніпро); ORCID 0000-0002-0022-099X

Видиш Анастасія Денисівна – магістр спеціальності «Комп’ютерна інженерія» Українського державного університету науки та технологій (Дніпро); ORCID 0000-0001-5843-7377

Pakhomova Victoria Nikolaevna – Ph.D., Assoc. Department of Electronic Computers of the Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro); ORCID 0000-0002-0022-099X

Vydish Anastasia Denisovna - Master of Computer Engineering, Ukrainian State University of Science and Technology; ORCID 0000-0001-5843-7377

В.Ю. Селівьорстов, Т.В. Селівьорстова, К.А. Зеленський, Л.Х. Іванова

**РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ НАДЛИВНОЇ ЧАСТИНИ ЗЛИТКІВ
ІЗ СТАЛЕЙ 40ХЛ ТА Х12МЛ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ГАЗОДИНАМІЧНОГО
ВПЛИВУ ТА ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ОБІГРІВУ**

Анотація. Приведені результати аналітичних досліджень щодо використання методики розрахунку розмірів надливів циліндричних виливків із сталей 40ХЛ та Х12МЛ масою 200 – 16000 кг і діаметром 0,25 – 0,7 м, що твердіють в металевій формі (виливниці) при електрошлаковому обігріві розплаву та створенні понадатмосферного газового тиску в надливній частині. Наведені схеми конструкції відповідного пристрою та реалізації технології. Використання конструкції холодильника у вигляді металевого корпусу зі вставкою із вогнетривкого матеріалу, графітовими електродами і вкладишем із флюсу, що працює за принципом плаваючої надливної вставки при реалізації комбінованої технології газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву, дозволяє ефективніше використовувати розплав надливної частини вилівка (злитка) для живлення усадки за рахунок підтримання металу в рідкому стані впродовж всього часу затвердіння основної маси вилівка (злитка), тим самим зменшуючи необхідну для живлення усадки кількість розплаву та, відповідно, масу надливу. Це особливо актуально для виробів із сплавів, що містять доревартісні компоненти основи та/або легуючі. Актуальним завданням також є отримання можливості визначення розмірів конкретного надливу при використанні технології для виливків різної маси та розмірів у найбільш зручний спосіб без реалізації громіздких розрахункових схем. Показано, що особливістю визначення розмірів надливів виливків, що виготовляються з використанням комбінованої технології, є врахування зміни розміру вставки з вогнетривкого матеріалу (передусім, товщини стінок), що займає певну долю об'єму надливної частини вилівка або злитка, що, у свою чергу, призведе до зміни розмірів надливу. Приведені розрахунки та побудовані номограми для визначення висоти надливу по його діаметру і масі виливків при співвідношеннях діаметрів вилівка та надливу 0,6, 0,65 та 0,7.

Ключові слова: комбінована технологія газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву, надлив, виливок, злиток, розрахунок, номограма.

Вступ. Традиційно більше 90 % об'єму світового випуску виливків виготовляють способом гравітаційної заливки розплаву, що твердіє у ливарних формах під атмосферним тиском. Проте, метал таких виливків, зазвичай, має під-

вищену хімічну неоднорідність, крупне первинне зерно, макро- і мікрошпаристість, що знижує механічні властивості в порівнянні з поковками і прокатом.

Одним із відомих шляхів підвищення якості литого металу є використання тиску в процесі кристалізації. Відомо, що найбільш ефективною є передача наростаючого тиску в двофазну зону, особливо наприкінці періоду затвердіння. При існуючих способах такого лиття більша частина навантажень, що пов'язані з використанням тиском, реалізується за рахунок міцності ливарної форми, або ємності, в якій вона знаходиться, що суттєво обмежує можливий діапазон тиску та масу виливків.

Розроблена на кафедрі ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро) технологія газодинамічного впливу на розплав, що твердіє в ливарній формі, дозволяє підвищити якість литого металу та може бути використана при виробництві виливків майже усіма відомими способами (в т.ч. спеціальними: в металеву форму, при литті по витоплюваним моделям тощо) і, практично, не має обмежень за масою виливків та видами сплавів [1 - 4].

Комбінована технологія газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву металу в надливі з успіхом може бути реалізована при виробництві, зокрема, прокатних валків та якісних ковальських злитків різної маси, що заливаються у виливницю через сифонну ливникову систему [5, 6].

Аналіз стану питання. Визначення режимів газодинамічного впливу базується на відповідності створюваного газового тиску кінетиці зростання затверділого шару металу.

Загальна методика розрахунку технологічних параметрів включає етапи попередньої обробки і отримання вихідних даних, безпосереднього виконання розрахункового алгоритму і подальшого аналізу результатів (рис. 1) [7]. Початковим етапом є попередня обробка даних.

Вона полягає у визначенні кінетики твердіння виливка $X(\tau)$ і зміни температури його поверхні $T_k(\tau)$. Для цього необхідно побудувати температурне поле виливка. Вихідними даними також є залежності від температури тимчасового опору і опору деформації, а також щільність матеріалу виливка, його геометричні характеристики.

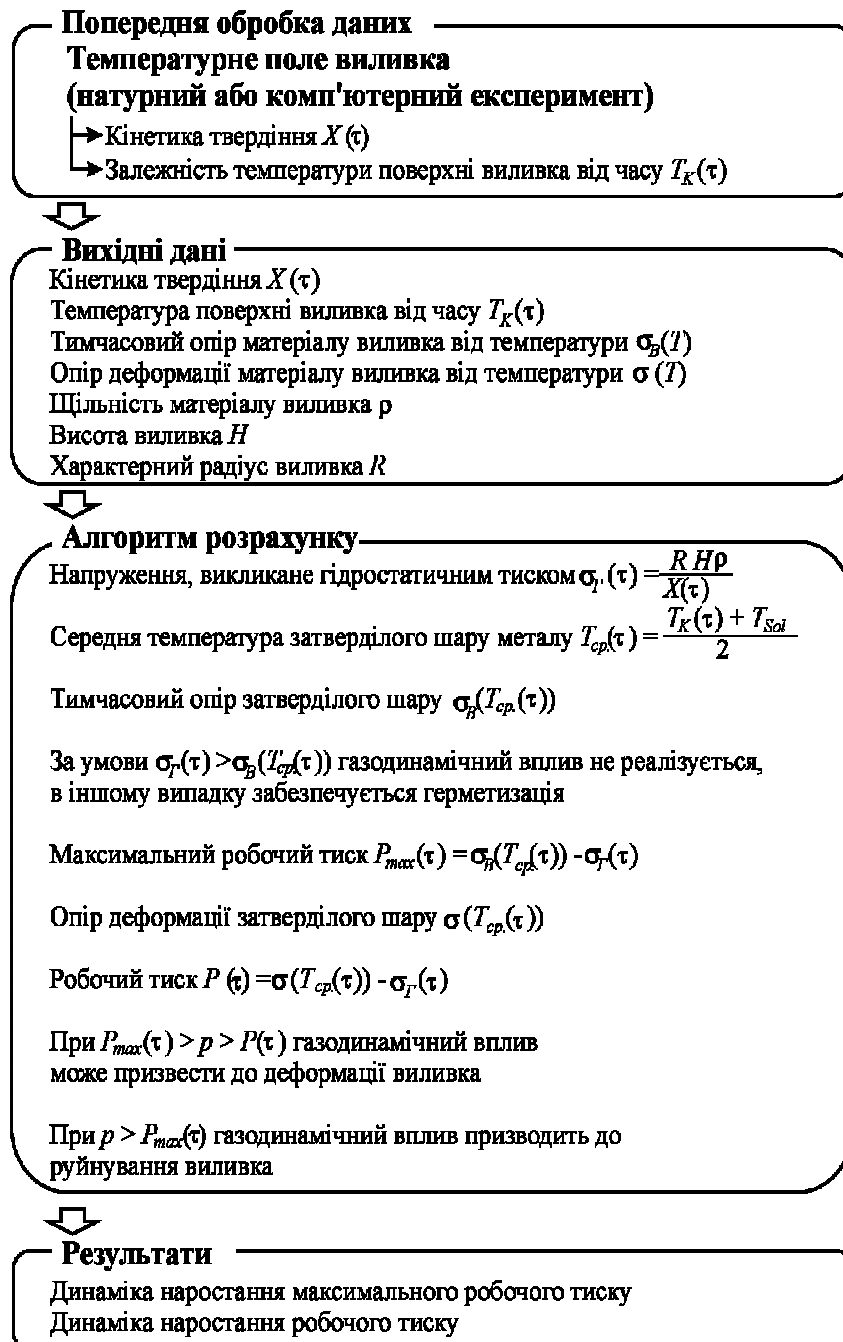


Рисунок 1 - Методика розрахунку режимів газодинамічного впливу [7]

На наступному етапі (алгоритм розрахунку) обчислювають динаміку наростання максимального робочого тиску $P_{max}(\tau)$ і динаміку наростання робочого тиску $P(\tau)$. В процесі твердіння виливка змінюється середня температура затверділого шару $T_{cp}(\tau)$, відповідно величини σ_B та σ , що дозволяє розраховувати динаміку зміни робочого тиску. Величина і динаміка зміни максимального робочого тиску розраховувалася як різниця значень тимчасового опору і величини розтягуючих напружень (σ_I) в затверділому шарі металу, відповідно для робо-

чого тиску – це різниця між значеннями опору деформації та величиною розтягуючих напружень.

Для автоматизованого визначення режиму газодинамічного впливу використовується комп'ютерна програма «GDICalc» (Gas-Dynamic Influence Calculation) [8 - 10].

Приклади результатів розрахунку режимів здійснення газодинамічного впливу при виробництві виливків різної маси із різних сплавів в металевій формі приведені на рис. 2.

Розроблена технологія може застосовуватися для одержання литих заготовок різної конфігурації, що виготовляють із різних сплавів як в постійних, так і у разових формах [1, 2].

Для здійснення технології розроблені пристрої, що конструктивно враховують специфіку способу лиття, конфігурацію, матеріал і масу виливка. При цьому, всі варіанти пристроїв передбачають наявність основних елементів, таких як газопровід, холодильник і система регулювання подачі стисненого газу. При цьому тиск протягом усього процесу затвердіння передається безпосередньо рідкій фазі усередині виливка [3 - 6].

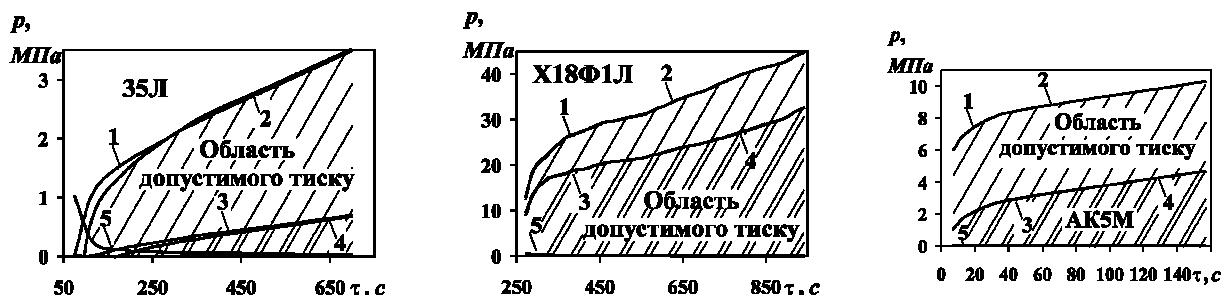


Рисунок 2 - Динаміка зміни та області допустимих значень тиску при здійсненні газодинамічного впливу: 1 – тимчасовий опір, 2 – максимальний робочий тиск, 3 – опір деформації, 4 – робочий тиск, 5 – гідростатичний тиск [8, 10, 11]

При виготовленні виливків із переважної більшості сплавів, в тому числі, крупних злитків (в тому числі ковальських) та прокатних валків необхідно використовувати надливи для компенсації усадки металу в процесі затвердіння. Відомо, що підвищити ефективність використання компенсаційної маси металу в надливі можливо завдяки застосуванню електрообігріву розплаву надливної зони та створенню в об'ємі надливу понадатмосферного тиску. Здійснити

такий комплексний вплив дозволяє комбінована технологія газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву (КТГВ-ЕШО) [4, 5].

На рисунку 3 представлена схема варіанту конструкції пристрою для здійснення КТГВ-ЕШО надливної частини виливка або злитка [4, 5]. Пристрій складається з металевого корпусу 1, електродів 2 (графітових), обладнаних контактними елементами 3, які разом з електродами вільно рухаються уздовж металевих струмопровідних стрижнів 4, на яких закріплені (зварюванням) шайби 5. Струмопровідні стрижні герметично кріпляться до металевого корпусу. Електроди обладнані насадками 9 з електронепровідного вогнетривкого матеріалу. У вставці 10 з електронепровідного вогнетривкого матеріалу розташований вкладиш 11 із твердого флюсу й закріплений металевими фіксаторами 12. Металевий корпус обладнаний осьовим газопостачальним патрубком 13, що за допомогою муфти 14 з'єднується з газопроводом 15 системи зовнішнього забезпечення газом високого тиску (на схемі не показана).

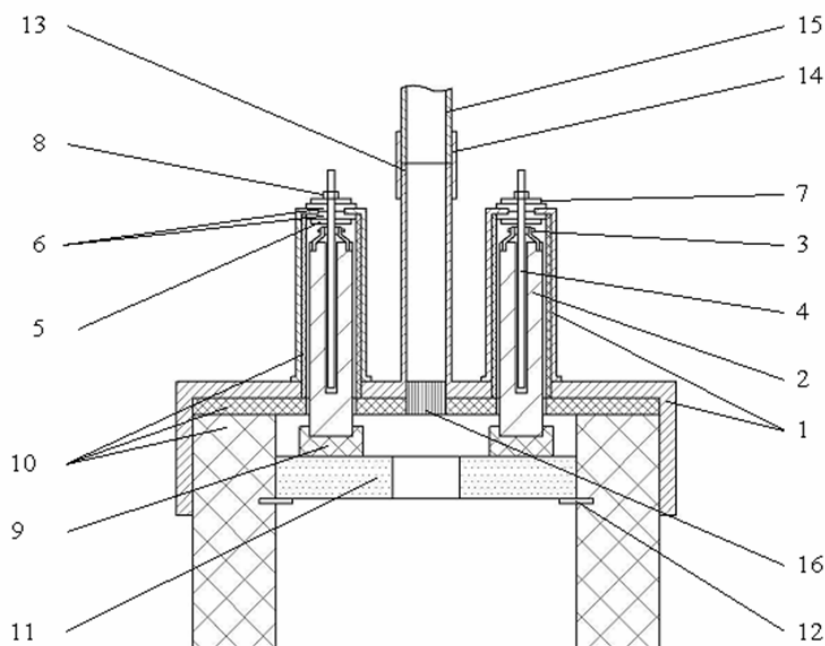


Рисунок 3 - Схема пристрою для здійснення КТГВ-ЕШО: 1 – металевий корпус, 2 – графітові електроди, 3 – контактні елементи, 4 – струмопровідні стрижні, 5 – шайби, 6 – електронепровідні прокладки, 7 – шайби, 8 – гайки, 9 – насадки з електронепровідного вогнетривкого матеріалу, 10 – вставка з електронепровідного вогнетривкого матеріалу, 11 – вкладиш із флюсу, 12 – металеві фіксатори, 13 – газопостачальний патрубок, 14 - муфта, 15 - газопровід, 16 - газопроникна пробка [4, 5]

Робота пристрою здійснюється в наступний спосіб. Збирають пристрій (рис. 3). До газопостачального патрубку 13 за допомогою металевого дроту кріплять ємність (звичайно, паперовий мішок) з теплоізоляційною засипкою. Після чого закріплюють металевий дріт на газопостачальному патрубку 13 з боку з'єднання газопроводу 15 і за допомогою підйомно-транспортного встаткування розміщують пристрій у ливарній формі, і фіксують його положення на певній відстані від дна робочої порожнини форми, при цьому відстань залежить від розмірів, конфігурації, типу сплаву виливка, а також від тривалості заливання (на схемі не зазначене).

Далі починають заповнення ливарної форми розплавом. У міру наповнення рівень металу доходить до ємності з теплоізоляційною засипкою, що розподіляється по всій поверхні дзеркала металу. При наступному підйомі рівня розплаву у формі відбувається занурення вставки з вогнетривкого матеріалу в шар теплоізоляційної засипки, а потім у розплав під дією власної маси та маси металевого корпусу, при цьому, металевий корпус разом із вкладишем із флюсу протягом процесу заповнення форми не занурюється в рідкий метал, а перебуває вище рівня поверхні теплоізоляційної засипки.

Наприкінці заповнення ливарної форми розплавом в надливній зоні пристрій зупиняється, металевий корпус занурюється в розплав за допомогою стопора (на схемі не зазначено), після цього припиняють заливання і в такому положенні роблять витримку протягом розрахованого проміжку часу з метою здійснення процесу герметизації системи виливок-елементи подачі стисненого газу. У цей час відбувається розплавлення вкладишу 11 і занурення електродів 2 з насадками 9 у розплав флюсу, причому, електроди не контактують із металевим розплавом (рис. 4, б). Далі, до струмопровідних стрижнів 4 приєднують струмопровідні кабелі (на схемі не зазначене), до газопостачального патрубку 13 за допомогою муфти 14 приєднують газопровід 15.

Після цього подають напругу, у шарі рідкого флюсу виділяється тепло та, відповідно, здійснюється обігрів металу надливної частини виливка протягом необхідного проміжку часу. Температуру нагрівання розплаву регулюють силою струму (I, A) і напругою (U, B) зварювального трансформатора (на схемі не зазначене). В процесі електрообігріву подають стиснений газ через газопроникну пробку 16 за заздалегідь розрахованим режимом зміни тиску. Таким чином, на рідкий і метал, що кристалізується, здійснюється додатковий газодинамічний вплив.

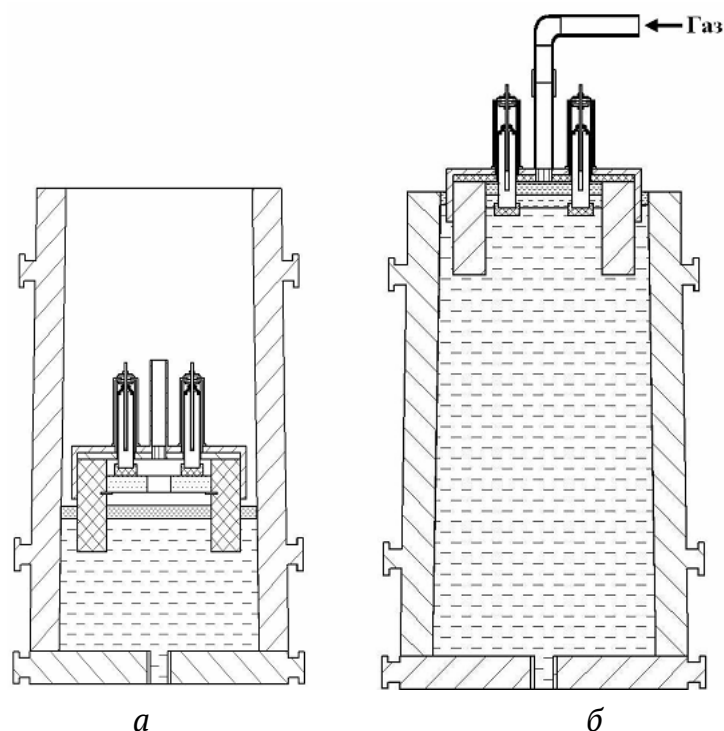


Рисунок 4 - Схема розташування пристрою в процесі (а) і після закінчення (б) заповнення форми розплавом [4, 5]

Одним з найважливіших показників ефективності будь якої технології виготовлення литих заготовок є вихід придатного, в тому числі, при виробництві злитків - це величина головної обрізі, що безпосередньо впливає на собівартість кінцевої продукції. Використання КТГВ-ЕШО дозволяє ефективніше використовувати розплав надливної частини вилівка (злитка) для живлення усадки за рахунок підтримання металу в рідкому стані впродовж всього часу затвердіння основної маси вилівка (злитка), тим самим зменшуючи необхідну для живлення усадки кількість розплаву та, відповідно, масу надливу. Це, зі зрозумілих причин, особливо актуально для виробів із сплавів, що містять в собі дорувартісні компоненти основи та/або легуючі. При цьому, актуальним завданням також є отримання можливості визначення розмірів конкретного надливу при використанні КТГВ-ЕШО для виливків різної маси та розмірів у найбільш зручний спосіб без реалізації громіздких розрахункових схем.

Тому **метою** даної роботи є проведення розрахунків та побудова номограм для визначення розмірів надливів циліндричних заготовок різної маси із сталей 40ХЛ та Х12МЛ, що твердіють в металевій формі при реалізації комбінованої технології газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву.

Основний матеріал. Однією з особливостей конструкції пристроїв для здійснення комбінованої технології газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву (КТГВ-ЕШО) є наявність вставки з вогнетривкого матеріалу, що займає певну долю об'єму надливної частини виливка або зливта. Відповідно, функції надливу виконуватиме об'єм металу, який знаходиться усередині вставки під шаром утеплюючої засипки і розплавленого електропровідного флюсу (рис. 5). Крім того, для одного і того ж виливка вставки можуть бути виконані з різних матеріалів з різними теплофізичними властивостями, що призведе до зміни розмірів вставки (передусім, товщини стінок) і об'єму, що займе вставка в надливній частині виливка або злитка, що, у свою чергу, призведе до зміни розмірів надливу.

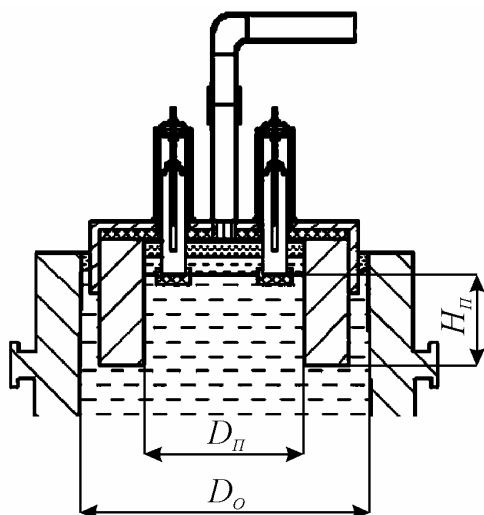


Рисунок 5 - Схема до розрахунку розмірів надливу при КТГВ-ЭШО [12]

Масу металу в надливі розраховували по формулі

$$m_{\Pi} = P_o e_o, \quad (1)$$

де P_o – маса виливка, кг,

e_o – об'ємна усадка, безрозмірна величина, вимірюється в долях одиниці.

Об'єм металу в надливі

$$V_{\Pi} = \frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} H_{\Pi}, \quad (2)$$

де D_{Π} – діаметр надливу, м,

H_{Π} – висота надливу, м.

Об'єм металу в надливі (2) за умови $k = D_o / D_{\Pi}$, обчислювали за формулою

$$V_{\Pi} = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi}, \quad (3)$$

де D_o – діаметр надливу, м,

k – безрозмірна величина, що характеризує співвідношення діаметрів виливка і надливу.

Виходячи з (3) маса металу в надливі складає

$$m_{\Pi} = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho, \quad (4)$$

де ρ – щільність матеріалу виливка, кг/м³.

Прирівнюючи вирази (2) і (3) отримаємо

$$P_o e_o = \frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho \quad (5)$$

Виражаємо P_o через геометричні характеристики виливка і надливу D_o , H_{Π} , k , а також параметри сплаву виливка e_o та ρ :

$$P_o = \left(\frac{\pi D_o^2 k^2}{4} H_{\Pi} \rho \right) / e_o \quad (6)$$

На рисунках 6 – 11 представлені номограми для визначення висоти надливу (H_{Π}) по його діаметру (D_{Π}) та масі (P_o) виливків циліндричної форми із сталей 40ХЛ та Х12МЛ при різному співвідношенні діаметрів виливка і надливу (k). При побудові номограм використовувалися наступні дані для прийнятих властивостей сплавів (таблиця 1)

$$P_o = \left(\frac{\pi D_{\Pi}^2}{4} H_{\Pi} \rho \right) / e_o. \quad (7)$$

Значення використовуваних параметрів
для розрахунку маси та розмірів надливу

Марка сплаву	Властивості	
	щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$	об'ємна усадка, %
40ХЛ	7860	3,4
X12МЛ	7600	4,3

Розрахунок проводився для виливків діаметром 0,25 – 0,7 м при варіації співвідношення діаметру виливка до діаметра надливу (k) 0,6, 0,65 та 0,7.

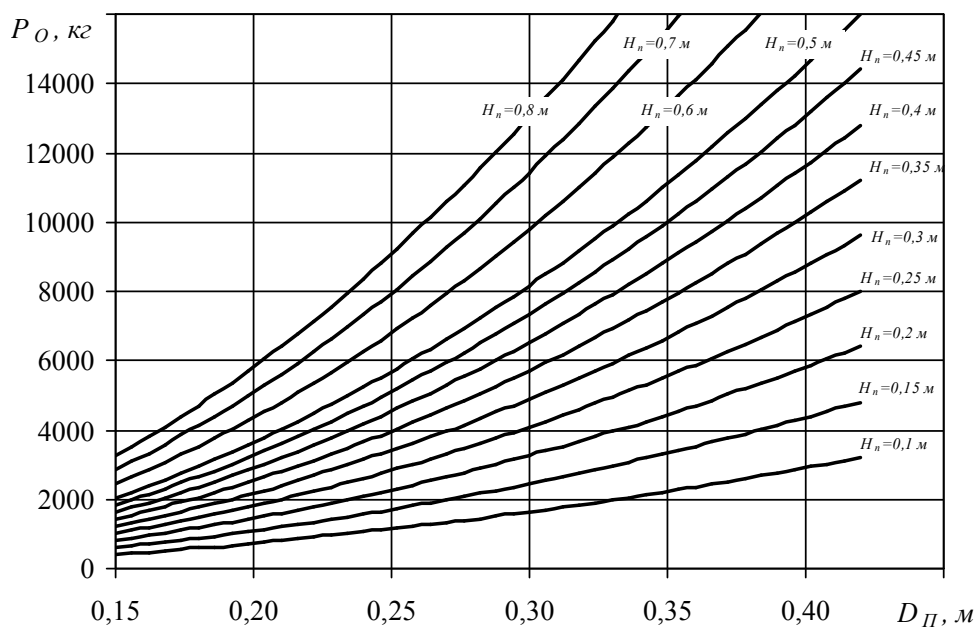


Рисунок 6 - Номограма для визначення висоти надливу ($H_{\text{п}}$) по його діаметру ($D_{\text{п}}$) і масі ($P_{\text{о}}$) виливка циліндричної форми із сталі 40ХЛ при співвідношенні діаметрів виливка та надливу $k = 0,6$

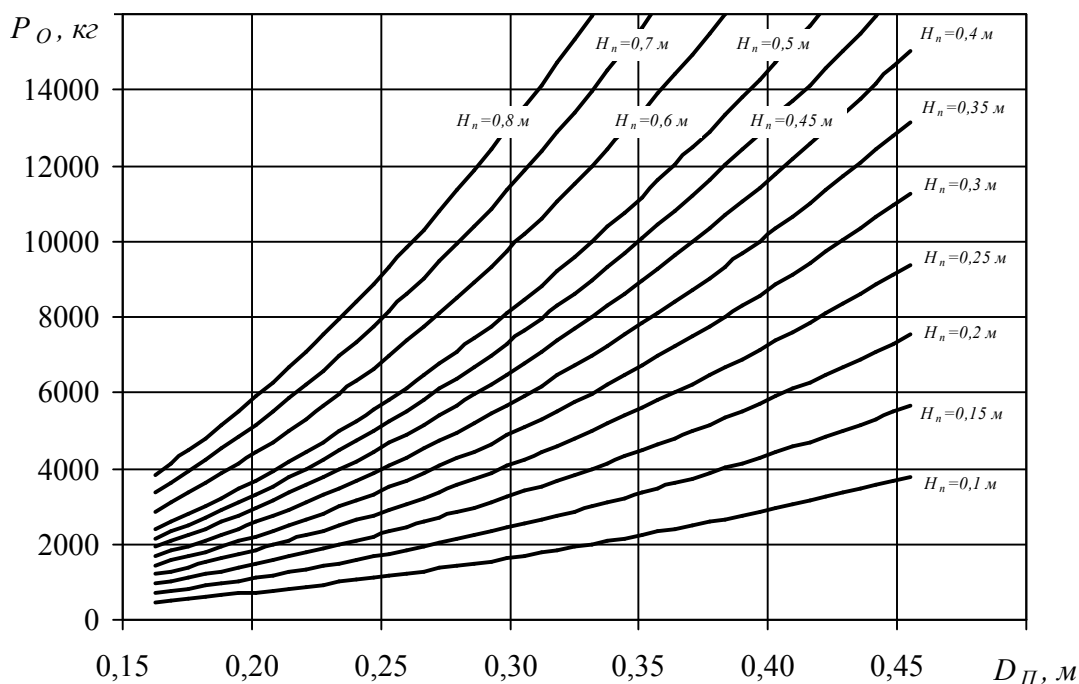


Рисунок 7 - Номограма для визначення висоти надливу (H_{II}) по його діаметру (D_{II}) і масі (P_O) виливка циліндричної форми із сталі 40ХЛ при співвідношенні діаметрів виливка та надливу $k = 0,65$

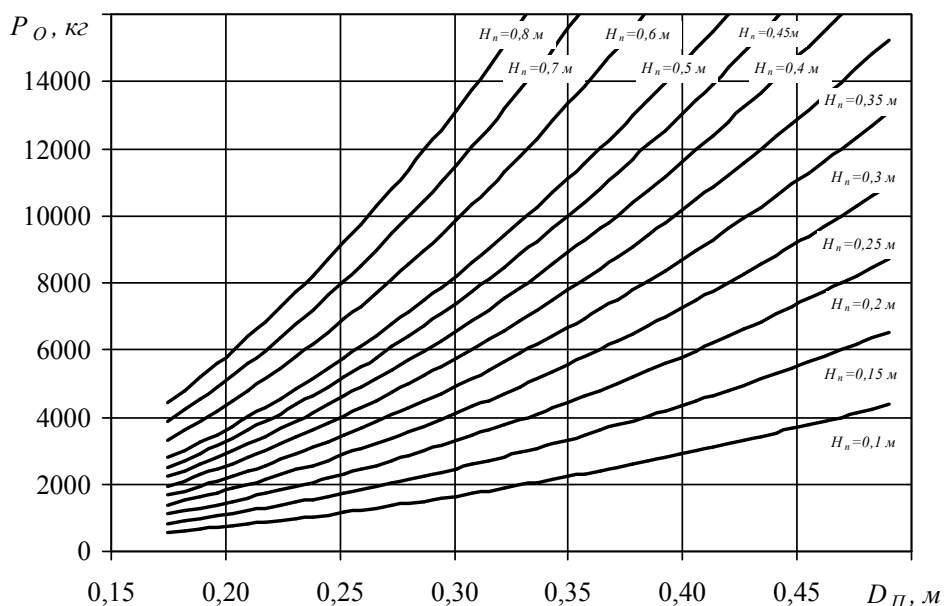


Рисунок 8 - Номограма для визначення висоти надливу (H_{II}) по його діаметру (D_{II}) і масі (P_O) виливка циліндричної форми із сталі 40ХЛ при співвідношенні діаметрів виливка та надливу $k = 0,7$

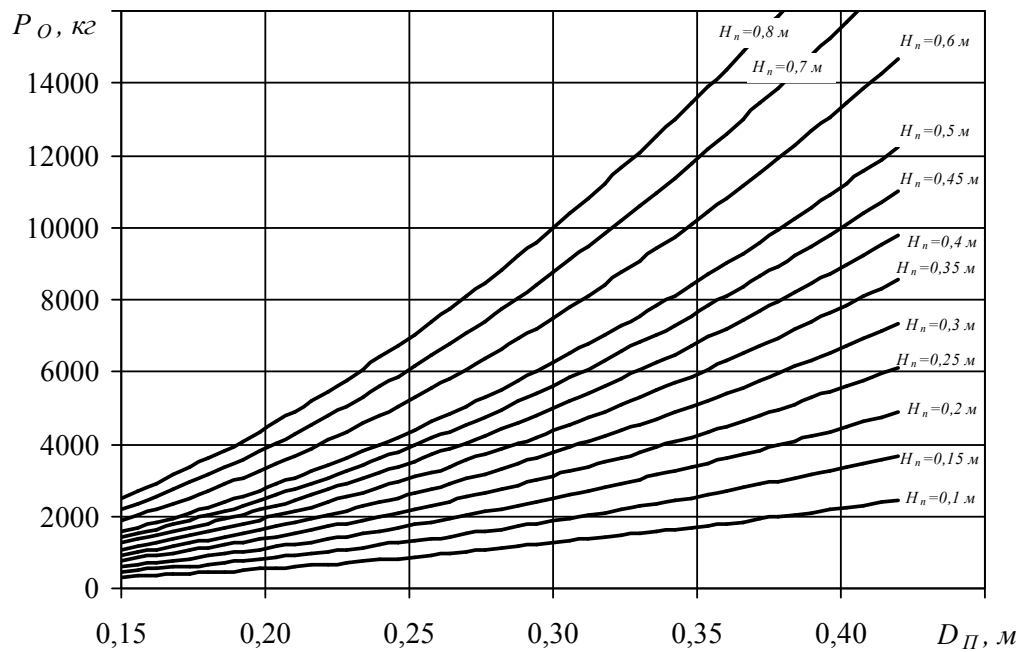


Рисунок 9 - Номограма для визначення висоти надливу (H_n) по його діаметру (D_n) і масі (P_o) виливка циліндричної форми із сталі X12ML при співвідношенні діаметрів виливка та надливу $k = 0,6$

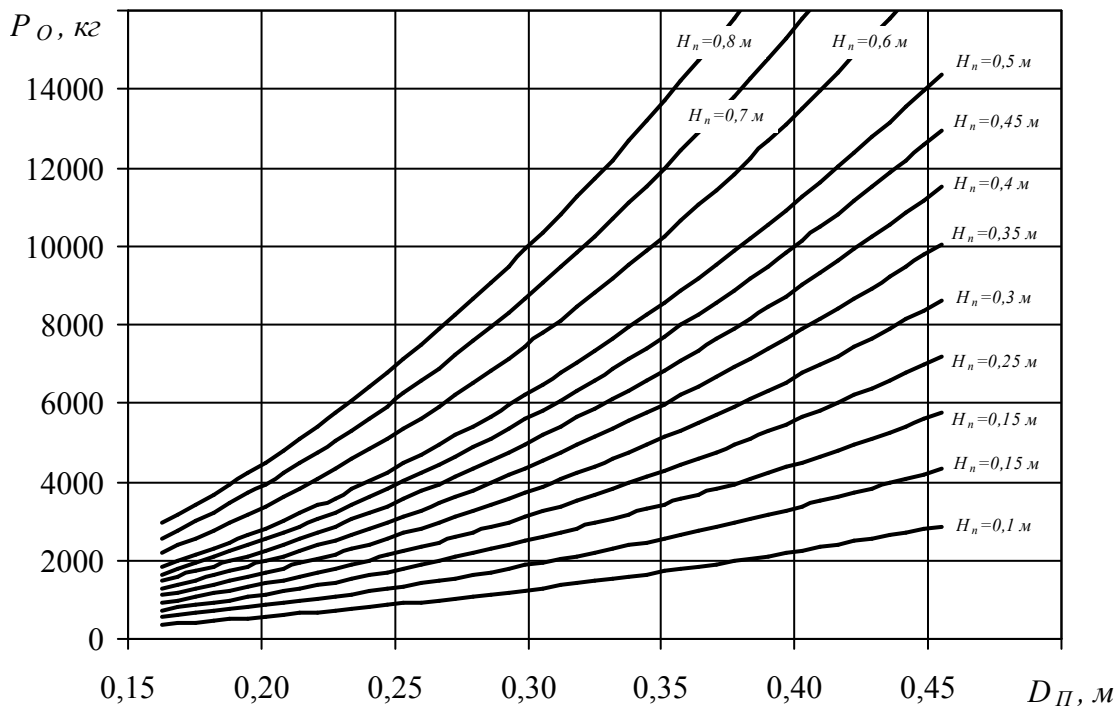


Рисунок 10 - Номограма для визначення висоти надливу (H_n) по його діаметру (D_n) і масі (P_o) виливка циліндричної форми із сталі X12ML при співвідношенні діаметрів виливка та надливу $k = 0,65$

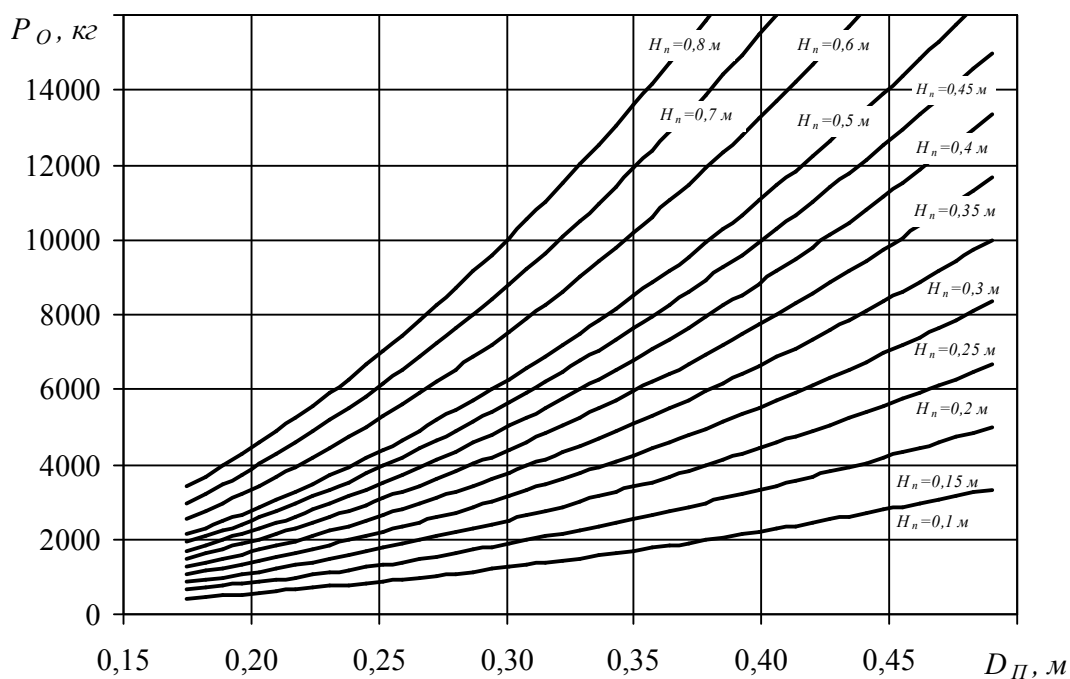


Рисунок 11 - Номограма для визначення висоти надливу (H_n) по його діаметру (D_n) і масі (P_o) вилівка циліндричної форми із сталі Х12МЛ при співвідношенні діаметрів вилівка та надливу $k=0,7$

Висновки.

1. В результаті проведеного аналізу даних згідно з тематикою роботи встановлено, що з урахуванням необхідності забезпечення утеплення металу в надливній зоні крупних виливків для забезпечення ефективного живлення усадки в процесі газодинамічного впливу, перспективно використання розробленої на кафедрі ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро) комбінованої технології газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву.

2. Застосування конструкції холодильника у вигляді металевого корпусу зі вставкою із вогнетривкого матеріалу, графітовими електродами і вкладишем із флюсу, що працює за принципом плаваючої надливної вставки, дає можливість максимально повно використовувати резерв перегріву розплаву в надливній зоні вилівка та більш ефективно здійснювати процес газодинамічного впливу.

3. Встановлено, що для визначення розмірів надливів виливків, що виготовляються з використанням КТГДВ-ЕШО, треба враховувати наявність вставки з вогнетривкого матеріалу, що займає певну долю об'єму надливної частини вилівка або злитка. Вставки можуть бути виконані з різних матеріалів з різними теплофізичними властивостями, що призведе до зміни розмірів вставки

(передусім, товщини стінок) і об'єму, що займає вставка в надливній частині виливка або злитка, що, у свою чергу, призведе до зміни розмірів надливу.

4. Проведені відповідні розрахунки та побудовані номограми для визначення висоти надливу ($H_{\text{п}}$) по його діаметру ($D_{\text{п}}$) і масі (P_0) виливків циліндричної форми із сталей 40ХЛ та Х12МЛ при співвідношеннях діаметрів виливка та надливу $\kappa = 0,6, 0,65$ та $0,7$. Розрахунки виконані для циліндричних виливків масою 200 – 16000 кг діаметром 0,25 – 0,7 м. Це дає можливість визначати технологічні параметри виготовлення таких литих заготовок в короткий час без проведення додаткових громіздких розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок /В.Ю. Селиверстов //Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. – 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.
2. Селівьорстов В.Ю. Диверсифікація режимів здійснення технології газодинамічного впливу при виготовленні виливків способом ЛВМ /В.Ю. Селівьорстов, П.Д. Куц //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – № 17 – С. 108 – 113.
3. Пат. 55301 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків /Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В., Куц П.Д., Савега Д.О.; власник патенту Національна металургійна академія України – № у 201006702; заявл. 31.05.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
4. Пат. 91943 Україна, МПК (2009) B22D 18/04, B22D 18/00. Пристрій для одержання виливків /Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Міняйло О.В.; власник патенту Національна металургійна академія України – № а 200906145; заявл. 15.06.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 17.
5. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків /Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Міняйло О.В., Савега Д.О.; власник патенту Національна металургійна академія України – № у 200906107; заявл. 15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.
6. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків /Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В.; власник патенту Національна металургійна академія України – № 200808859; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.
7. Селиверстов В.Ю. Методика расчета параметров газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме / В.Ю. Селиверстов,

Т.В. Михайловская //Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 3 (68). – С. 186 – 192.

8. Селівьорстов В.Ю. Автоматизоване визначення режиму газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі /В.Ю. Селівьорстов, Т.В. Михайловська //Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 4 (69). – С. 73 – 78.

9. Комп'ютерна програма «GDICalc»; свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір /Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. – № 34834; дата реєстрації 06.09.2010.

10. Михайловская Т.В. Компьютерный расчет температурного поля отливки и объемной песчаной формы для управления технологическими режимами /Т.В. Михайловская, В.Ю. Селиверстов //Вестник СевГТУ: Сб. науч. тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. –Вып. 95. – С. 47 – 52.

11. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокilі /В.Ю. Селівьорстов //Теорія і практика металургії. – 2009. – № 1 – 2. – С. 158 – 161.

12. Селивѳрстов В.Ю. Расчет размеров прибылей отливок, изготавливаемых с использованием комбинированной технологии газодинамического воздействия и электрошлакового обогрева /В.Ю. Селивѳрстов, Т.В. Михайловская //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2011. – № 1 (72). С. 11 – 17.

REFERENCES

1. Seliverstov V.Yu. Tekhnolohiya hazodynamycheskoho vozdeistvyia na rasplav v lyteinoi forme – odyh yz perspektyvnykh sposobov povыsheniia kachestva metalla otlyvok /V.Yu. Selyverstov //Suchasni problemy metalurhii. Naukovi pratsi. – 2007. – Tom 10. – S. 25 – 35.

2. Selivorstov V.Yu. Dyversyfikatsiia rezhymiv zdiisnennia tekhnolohii hazodynamichnoho vplyvu pry vyhotovlenni vylyvkiv sposobom LVM /V.Yu. Selivorstov, P.D. Kushch //Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychnyi vypusk: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010. – № 17 – S. 108 – 113.

3. Pat. 55301 Ukraina, MPK (2009) V22D 18/00. Sposib otrymannia vylyvkiv /Selivorstov V.Yu., Khrychikov V.E., Dotsenko Yu.V., Kushch P.D., Saveha D.O.; vlasnyk patentu Natsionalna metalurhiina akademiia Ukrainy – № u 201006702; zaiavl. 31.05.2010; opubl. 10.12.2010, Biul. № 23.

4. Pat.91943 Ukraina, MPK(2009) V22D 18/04, V22D 18/00.Prystarii dlia oderzhannia vylyvkiv/Selivorstov V.Yu., Khrychikov V.E., Kutsova V.Z., Miniaiilo O.V.; vlasnyk

patentu Natsionalna metalurhiina akademiia Ukrainy – № a 200906145; zaiavl. 15.06.2009; opubl. 10.09.2010, Biul. № 17.

5. Pat. 46128 Ukraina, MPK (2009) V22D 18/00. Sposib otrymannia vylyvkiv /Selivorstov V.Yu., Khrychikov V.E., Kutsova V.Z., Miniailo O.V., Saveha D.O.; vlasnyk patentu Natsionalna metalurhiina akademiia Ukrainy – № u 200906107; zaiavl. 15.06.2009; opubl. 10.12.2009, Biul. № 23.

6. Pat. 37838 Ukraina, MPK (2006) V22D 18/00. Sposib otrymannia vylyvkiv /Selivorstov V.Yu., Khrychikov V.E., Dotsenko Yu.V.; vlasnyk patentu Natsionalna metalurhiina akademiia Ukrainy – № 200808859; zaiavl. 07.07.2008; opubl. 10.12.2008, Biul. № 23.

7. Selyverstov V.Yu. Metodyka rascheta parametrov hazodynamycheskoho vozdeistvyia na zatverdevaiushchyi metall v lyteinoi forme / V.Iu. Selyverstov, T.V. Mykhailovskaia //Systemni tekhnolohii: Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats. – Dnipropetrovsk, 2010. – Vyp. 3 (68). – S. 186 – 192.

8. Selivorstov V.Yu. Avtomatyzovane vyznachennia rezhymu hazodynamichnoho vplyvu na rozplav v lyvarnii formi /V.Yu. Selivorstov, T.V. Mykhailovska //Systemni tekhnolohii: Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats. – Dnipropetrovsk, 2010. – Vyp. 4 (69). – S. 73 – 78.

9. Kompiuterna prohrama «GDICalc»; svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir /Selivorstov V.Yu., Mykhailovska T.V. – № 34834; data reiestratsii 06.09.2010.

10. Mykhailovskaia T.V. Kompiuternyi raschet temperaturnoho polia otlyvky y ob'ємnoi peschanoi formy dlia upravleniia tekhnolohycheskymy rezhymamy /T.V. Mykhailovskaia, V.Yu. Selyverstov //Vestnyk SevHTU: Sb. nauch. tr. – Sevastopol: Yzd-vo SevNTU, 2009. –Vp. 95. – S. 47 – 52.

11. Selivorstov V.Yu. Osoblyvosti rozrakhunku hazodynamichnoho vplyvu na metal, shcho tverdiie v kokili /V.Yu. Selivorstov //Teoriia i praktyka metalurhii. – 2009. – № 1 – 2. – S. 158 – 161.

12. Selivorstov V.Yu. Raschet razmerov prybylei otlyvok, yzghotavlyvaemykh s yspolzovanyem kombynyrovannoi tekhnolohyy hazodynamycheskoho vozdeistvyia y elektroshlakovoho obohreva /V.Yu. Selivorstov, T.V. Mykhailovskaia //Systemni tekhnolohii. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats. – 2011. – №1 (72). S. 11 – 17.

Received 28.03.2022.

Accepted 31.03.2022.

**Calculation of the sizes of the overflow part of ingots from steels 40ХЛ and Х12МЛ
at application of gas-dynamic influence and electroslag heating**

The results of analytical research on the use of methods for calculating the size of inflows of cylindrical casts from steels 40ХЛ and Х12МЛ weighing 200 - 16000 kg and a diameter of 0.25 - 0.7 m, hardening in metal form (mold) in electroslag heating of the melt and creating atmospheric gas pressure in the overflow part. Schemes of construction of the corresponding device and realization of technology are resulted. The use of the refrigerator design in the form of a metal housing with an insert of refractory material, graphite electrodes and a flux insert, which works on the principle of floating filling insert in the combined technology of gas-dynamic impact and electroslag heating, allows more efficient use of melt casting ingot by keeping the metal in a liquid state throughout the curing time of the main mass of the casting (ingot), thereby reducing the amount of melt required to feed the shrinkage and, accordingly, the mass of the overflow. This is especially true for alloy products that contain high-cost base components and / or alloys. It is also an urgent task to be able to determine the size of a particular filling when using technology for castings of different weights and sizes in the most convenient way without the implementation of cumbersome calculation schemes. It is shown that the peculiarity of determining the size of overflows of castings made using combined technology is to take into account changes in the size of the insert of refractory material (especially wall thickness), which occupies a certain share of the overflow part of the cast or ingot, which, in turn, will change the size of the filling. Calculations and nomograms for determining the height of the filling by its diameter and the mass of casts at the ratios of the diameters of the casting and filling 0.6, 0.65 and 0.7.

Селівьорстов Вадим Юрійович – д.т.н., професор, Український державний університет науки і технологій.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна - к.т.н., доцент, Український державний університет науки і технологій.

Зеленський Костянтин Андрійович - магістр, Український державний університет науки і технологій.

Іванова Людмила Харітоновна - д.т.н., професор, Український державний університет науки і технологій.

Selivorstov Vadim - Doctor of technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies.

Selivorstova Tatjana - Ph.D., Associate Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies.

Zelenskyi Kostiantyn - master, Ukrainian State University of Science and Technologies.

Ivanova Lyudmila - Doctor of technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Science and Technologies.

В.В. Скалозуб, В.М. Горячкін, І.В. Клименко, Д.О. Шаповал

**МОДЕЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КЛАСИФІКАЦІЇ І ПРОГНОЗУВАННЯ
НЕДЕТЕРМІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ
ЗА ПОКАЗНИКАМИ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ**

Анотація. У статті досліджуються процеси класифікації, моделювання та короткострокового прогнозування недетермінованих часових послідовностей, які представлені антиперсистентними часовими рядами (АЧР). Предмет аналізу – процедури класифікації та прогнозування параметрів таких моделей. Метою роботи є підвищення ефективності та точності методів і алгоритмів класифікації, моделювання та прогнозування АЧР. За допомогою агрегування рівнів АЧР розроблено коректні математичні моделі класифікації недетермінованих часових послідовностей, а також сформовано алгоритмічні та програмні засоби їх реалізації. Проведено порівняльний аналіз чисельної ефективності алгоритмів класифікації АЧР, реалізовано завдання короткострокового прогнозування АЧР. У статті також представлено інструментальне програмне середовище, що забезпечує коректне вивчення алгоритмів моделювання та класифікації антиперсистентних часових рядів (АЧР).

Ключові слова: антиперсистентні часові ряди, класифікація ЧР, моделювання, інтерполяція, короткострокове прогнозування, точність алгоритмів класифікації, програмне забезпечення.

Вступ та постановка проблеми. Всебічний аналіз станів та ефективне управління складними недетермінованими процесами, зокрема залізничного транспорту (ЗТ), з використанням лише класичних методів математико-статистичного моделювання є неможливими. Розподіленість та складність процесів ЗТ (поїздоутворення, технології здійснення процесів вантажних перевезень а також ремонту, функціонування транспортної інфраструктури та її об'єктів ін.) призводять до виникнення подій і ситуацій з принципово недетермінованими параметрами. Перелічені та інші фактори обумовлюють причини відсутності загальних математичних моделей для багатьох процесів ЗТ технологічно-економічного змісту. У зв'язку зі складністю і недетермінованістю численних процесів ЗТ одним із основних способів їх первинного опису є представлення даних у вигляді упорядкованих за етапами та інтервалами значень основних вимірюваних характеристик часових рядів (ЧР). Прикладами таких ЧР для залізниці можуть бути параметри вагонопотоків різних

категорій на полігонах і станціях, оцінки витрат різних видів ресурсів за періодами, параметри вантажопотоків, послідовності подій процесів експлуатації та ін.

Моделі і методи аналізу та прогнозування станів і параметрів складних систем на основі ЧР отримали визнання і широке поширення, знаходять нові області застосування і форми реалізації. Відзначається що ЧР процесів ЗТ і вимоги до результатів їх аналізу мають специфіку у порівнянні з аналізом ЧР природних процесів (біологічні та атмосферні явища, кардіологічні процеси тощо). Основні з них – по-перше, що ЧР є «короткими» (до 250 рівнів); по-друге, вимога результативності щодо «придатності» процедур аналізу для реалізації систематичного та достовірного виробничо-технічного прогнозування і планування.

Для дослідження загальних властивостей ЧР натеper використовуються моделі та методи фрактального аналізу, зокрема, обчислення показника Херста. (H), за значеннями якого встановлюються категорії процесів ЧР (персистентні або трендостійкі, антиперсистентні, де очікуються «злами» тенденції, процеси випадкового характеру). Для дослідження антиперсистентних ЧР (АЧР) були розроблені спеціалізовані процедури, які за рахунок узагальнення послідовних рівнів АЧР дозволили диференціювати та класифікувати такі недетерміновані процеси.

Формування та інтерпретація послідовностей даних АЧР потребує визначення можливості коректного формування комп'ютерних моделей, процедур оцінки параметрів станів процесів, методики дослідження властивостей ЧР, точності та достовірності побудованих моделей тощо. Розвиток досліджень щодо моделей, алгоритмів і програмних засобів, призначених для аналізу, класифікації та прогнозування АЧР натеper має науковий і практичний інтерес, що свідчить про актуальність представленої роботи. В статті вирішуються питання що забезпечують розробку алгоритмічних та інструментальних програмних засобів, а також виконання порівняльного аналізу чисельної ефективності алгоритмів коректного дослідження і класифікації АЧР, формування процедур інтерполяції та короткострокового прогнозування АЧР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням властивостей складних процесів та систем, представлених часовими рядами (ЧР), а також методам та процедурам які для цього застосовуються, постійно приділяється увага, зокрема в роботах [1 – 6,13,14]. При цьому виділяється широкий спектр напрямків щодо цілей та інструментарію. В [1] відзначено що вимірювання складності та передбачуваності ЧР іноді є наріжним каменем для пропозицій

щодо розв'язання проблем. Як метод вимірювання складності та передбачуваності ЧР у багатьох областях широко застосовується багатомасштабна ентропія (MSE), У роботі [1] розроблено нову функцію подібності – гнучку багатомасштабну ентропію (FMSE), призначену для вимірювань схожості двох підпоследовностей. Пропонований метод FMSE здатний підвищити продуктивність процедур аналізу часових рядів.

У різних галузях досліджень ентропія була поширеним індексом для кількісної оцінки складності ЧР. В [2] вводиться нова форма – ентропія збільшення (приросту), призначена для вимірювання складності ЧР. Обчислення ентропії приросту ЕП не потребує жодних припущень про ЧР і може бути застосовним до довільних даних реального світу. Метою [3] є розробка нової систематичної і всеосяжної кількісної основи для оцінки стійкості виробничих процесів, в тому числі представлених ЧР, яка охоплює три аспекти стійкості. Подано рекомендації щодо вибору та кількісної оцінки відповідних показників, перетворення кількісних зважених показників у безрозмірні величини та ранжирування альтернатив розвитку процесів на основі агрегованих балів.

Часова складність відноситься до властивостей ЧР, які є емерджентними, нестійкими або не можуть бути легко описані лінійними процесами [4]. У зазначеній роботі представлений метод *tangle* (клубок), який дозволяє проводити кількісну оцінку складності у відносно коротких ЧР, які зазвичай отримують у багатьох галузях досліджень. Клубок – це міра того, наскільки цей процес відрізняється від простого періодичного руху. Кількісна оцінка методом «Клубок» отримується внаслідок ітеративної процедури масштабування та процедур «розплутування».

В попередніх статтях приблизна ентропія (ПЕ) та ентропія вибірки (ЕВ) використовувалися для кількісної оцінки регулярності ЧР. В [5] було виконано вивчення впливу зміни параметрів моделей ПЕ і ЕВ в часових рядах процесів СОР, а також досліджено здатність цих форм ентропії розрізняти певні групи у ЧР. В [6] гаусову графічну модель (GGM, ненаправлена мережа часткових коефіцієнтів кореляції) докладно описується та досліджується. Встановлюється її значна корисність як інструмента дослідницького аналізу даних. Модель GGM показує, які змінні передбачають один одного, дозволяє розріджене моделювання коваріаційних структур, а також може виявити потенційні причинно-наслідкові зв'язки між змінними, які спостерігаються. Зазначені та значна кількість інших напрямків досліджень процесів, представлених ЧР, свідчать про постійний та значний інтерес до моделей ЧР.

Дослідженням комплексу питань щодо аналізу, класифікації та прогнозування ЧР, в тому числі АЧР процесів залізничного транспорту України, присвячено багато публікацій [11-14]. Серед них виділимо роботи, спрямовані на аналіз первинної природи моделей процесів з ЧР. На рис. 1 зображено загальну структуру процесу відправлення певної категорії вагонів зі станції. На рис. 2, наведені деякі результати моделювання недетермінованих процесів прибуття вагонів на залізничну станцію за рік.

Очевидними для раціонального управління такими процесами є завдання щодо оцінки величин вагонопотоків, які будуть надходити у певний період (наприклад, доба, тиждень ін.). У більшості практичних випадків на залізницях для цього використовують методики нормування. Їх ефективне застосування не завжди є обґрунтованим та ефективним. При цьому важливе значення мають завдання моделювання, аналізу та прогнозування таких процесів на основі ЧР. Для забезпечення достовірності та адекватності математичних моделей і подібних процесів в представлений роботі перш за все було необхідно встановити загальні властивості часових рядів вагонопотоків (ЧР-В).

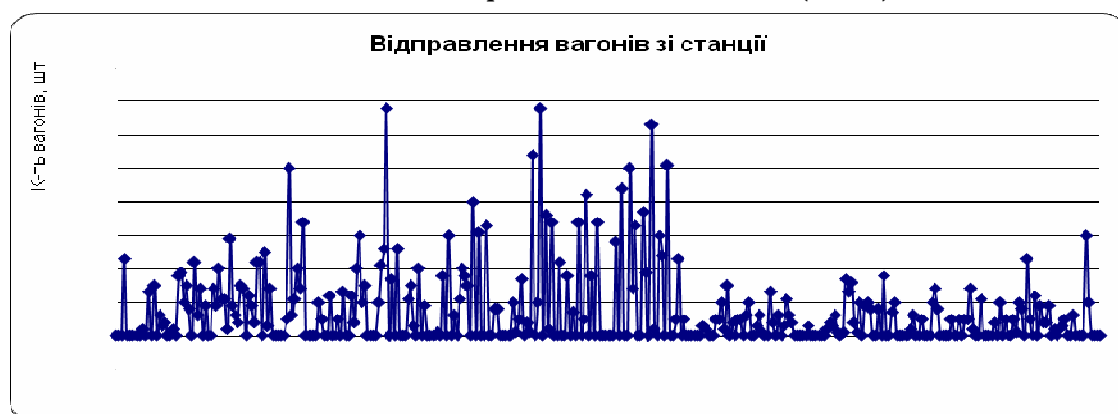


Рисунок 1 – Динаміка відправлення вагонів зі станції за рік



Рисунок 2 – Моделювання процесів прибуття вагонів на станцію

Для цього використовуються методи фрактального аналізу, зокрема, обчислення показника Херста (1) [7, 8]. Його значення дозволяють встановити категорію, класифікувати процеси ЧР на персистентні (трендостійкі), антиперсистентні («злам» тенденції, повернення), виявити випадковий характер процесу.

$$H = \frac{\log(R / S)}{\log(a * N)} \quad (1)$$

де: H – показник Херста; S – середнє квадратичне відхилення ряду спостережень; R – розмах накопиченого відхилення; N – число періодів спостережень; « a » – задана константа.

Відповідно [7] для «коротких» ЧР (відповідають процесам реалізації залізничних перевезень) краще використовувати величину константи $a = \frac{\pi}{2}$. Таке значення параметра (1) дозволяє з більшою вірогідністю оцінювати властивості ЧР і визначати умови, коли ЧР має пам'ять, стає персистентним ($H > 0,5$). Проведені дослідження властивостей часових рядів (ЧР) деяких процесів перевезення та обслуговування вагонопотоків ЗТ України дозволили класифікувати їх як АЧР.

В [10] запропонований теоретико-методичний підхід та спеціалізована процедура, спрямовані на вирішення задачі диференціювання АЧР та їх класифікації. Класифікація АЧР дозволяє виявити додаткові ознаки процесів, за рахунок чого підвищити достовірність і точність результатів аналізу та прогнозування недетермінованих процесів. В основі цього підходу – послідовність перетворень вихідних АЧР за допомогою процедур узагальнення і вирівнювання розташованих поруч рівнів вихідних послідовностей даних. В дослідженнях [7 – 9] були визначені можливості та застосовані методи хаотичної динаміки до аналізу і прогнозування недетермінованих процесів діяльності підприємств ЗТ за умов збурень зовнішнього середовища. При цьому була розроблена методологія та теоретико-методичні підходи до формування завдань класифікації недетермінованих виробничих процесів, представлених АЧР, а також сформовані базові процедури класифікації досліджуваних процесів. З використанням цього інструментарію була отримана класифікація технолого-економічних процесів ЗТ України, представлених ЧР, та запропоновано рекомендації щодо практичного застосування результатів класифікації для підвищення достовірності та точності прогнозування показників процесів.

В статті [8] пропонується наступна процедура класифікації ряду (ПКР) шляхом його перетворення. Схематично за ПКР на основі даних вихідного ЧР

формується серія $ЧР_i(k)$ нових, $k = 2, 3, 4, 5 \dots$. У серії $ЧР_i(k)$ параметр « k » вказує кількість послідовно розташованих рівнів ряду, які використовуються для побудови одного чергового рівня перетвореного ряду (як середнього значення k рівнів) на етапі аналізу « i ». Тобто « i » означає номер етапу ПКР по утворенню та дослідженню $ЧР_i(k)$. На наступному ($i+1$) і подальших етапах процедура ПКР застосовується до нових, утворених на попередніх етапах $ЧР_i(k)$. Побудова серій $ЧР_i(k)$ припиняється, якщо для деякого значення « k » відповідний $ЧР_i(k)$ стане персистентним відповідно (1). В якості іншої, але подібної умови закінчення ПКР, служить виконання вимоги на етапі « i »: $H(ЧР_i(k)) > H^*(1)$. При виконанні умови зупинки серії $ЧР_i(k)$ для декількох узагальнених рівнів « k », вважають, що ЧР відноситься до класу з меншим « k ». До отриманих на етапі « k » модифікованим рядах далі застосовуємо методи кореляційно-регресійного аналізу [9, 10], будують регресійну модель утвореного $ЧР_i(k)$. В якості міри достовірності кожної з моделей виступає коефіцієнт детермінації (R^2). Наведемо приклади застосування процедури ПКР до деяких процесів формування вантажних вагонопотоків ЧР-В. На рис. 3 та рис. 4 представлені узагальнені моделі процесів та регресії для таких модифікованих ЧР-В. Так аналіз дозволив встановити, що вихідний АЧР-В, з моделлю $ЧР_i(5)$, відноситься до 5-го класу, тобто перетворився у персистентний ($H=0,587$) при агрегуванні по 5 послідовних рівнів АЧР. На рис. 5 відображено АЧР-В 7-го класу, тобто він складається з послідовностей модифікованих елементів утворених шляхом агрегації 7-ми ($k=7$) рівнів АЧР.

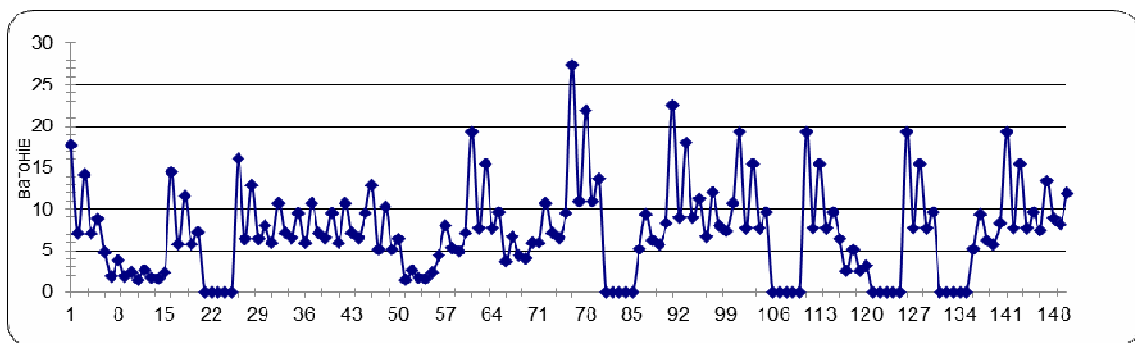


Рисунок 3 - Вихідний АЧР 5-го класу, $ЧР_i(5)$. $H=0,587$

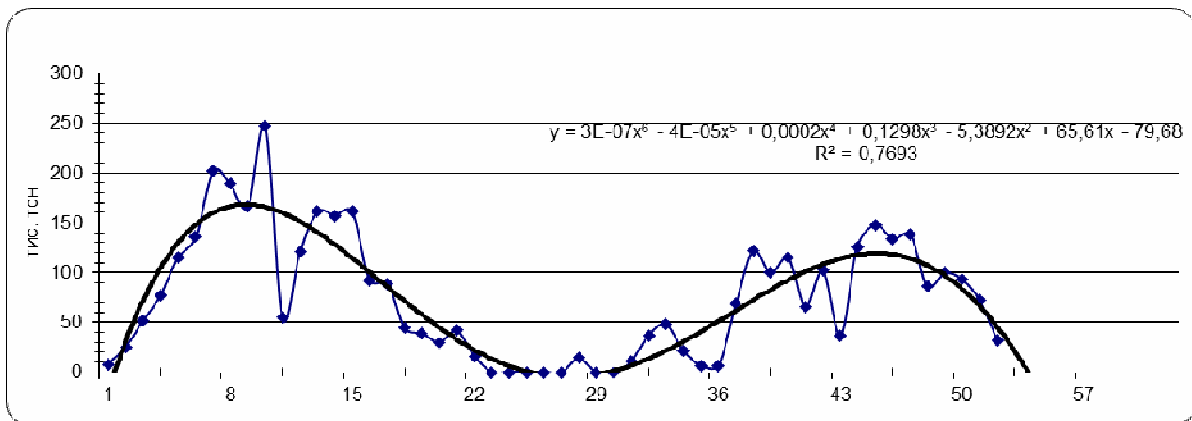


Рисунок. 4 - Модель регресії для $ЧР_i(7)$. ($k=7$)

При цьому поліноміальна модель регресії має досить високий коефіцієнт детермінації ($R^2=0,7693$). Суттєво, що для моделі рис. 4 значення ($k=7$) мало змістовну інтерпретацію, обсяг вагонів за тиждень.

Сформовані на основі модифікованих трендостійких моделей процесів $ЧР_i(k)$, що отримані при класифікації АЧР, забезпечують лише можливість оцінки узагальнених показників за період « k ». Такі значення в багатьох практичних випадках являються недостатніми. В загальному випадку отриманні на основі агрегованого ряду дані не можуть бути використанні безпосередньо, наприклад для оперативного планування. Навіть коли АЧР класифікований як $ЧР_i(k=2)$, на практиці використання такого прогнозу для побудови оперативних планів викликає певні заперечення. Тому бажано мати оцінки рівнів для всіх періодів, а не лише для групових даних. Використання таких прогнозів для ЧР класу $k>2$ ще більш ускладнюється.

Для вирішення завдання оцінювання параметрів процесів на всіх рівнях необхідно застосовувати процедури інтерполяції. Загальна пропозиція щодо форми процедури оцінювання показників рівнів процесів всередині інтервалів класифікації ЧР приведена у [8]. Сутність процедури, призначеної для інтерполяції величин в діапазонах агрегування при класифікації ЧР, полягає в формуванні кількох новоутворених послідовностей класу « k », які зміщені між собою на кілька рівнів. То ж вони мають однаковий клас « k », але відмінну нумерацію рівнів і математичні моделі трендів. За рахунок зміщення моделей можливо виконувати інтерполяцію за рівнями, використовуючи систему рівнянь.

Наведемо приклад розрахунків для $ЧР_i(2)$. Позначим через Δ_1, Δ_2 і т.д. складові першого процесу агрегування (Y_1), $ЧР_1(k_2)$ (Y_1). Рівні моделі процесу (Y_2) $ЧР_2(k_2)(Y_2)$ будуть зміщені від (Y_1) на один рівень. Далі представлені початкові

елементи моделей (Y_1) та (Y_2), елементи яких Δ_1, Δ_2 і т.д., частково містять однакові рівні початкового ЧР.

$$\begin{aligned} Y_1(1) &= \Delta_1 + \Delta_2, \\ Y_2(1) &= \Delta_2 + \Delta_3 \end{aligned} \quad (2)$$

При відомих значеннях першого рівня початкового АЧР та Δ_1 розраховують величину другого рівня процесу (Y_1). Ця величина входить до значення Δ_2 процесу (Y_2), див. рівняння (2). На наступному етапі розрахований параметр за величиною Δ_2 процесу (Y_2), використовують для оцінки рівнів на основі процесу (Y_1). Таким чином поетапно визначають кожен наступний рівень на основі попередніх агрегованих значень моделей (Y_1), (Y_2).

На рис. 5 – 6, наведено приклад моделювання АЧР класу $k=2$ при зазначеному вище початковому зміщенні рівнів. Використання моделей (Y_1) та (Y_2) дозволяє виконувати процедури інтерполяції дозволяє поетапно виконувати процедуру інтерполяції величин всіх рівнів АЧР.

Дослідження отриманих моделей АЧР показали, що модель побудована на основі агрегованих ЧР мають суттєві переваги стосовно точності (абсолютне та відносне відхилення та достовірності (R^2)).

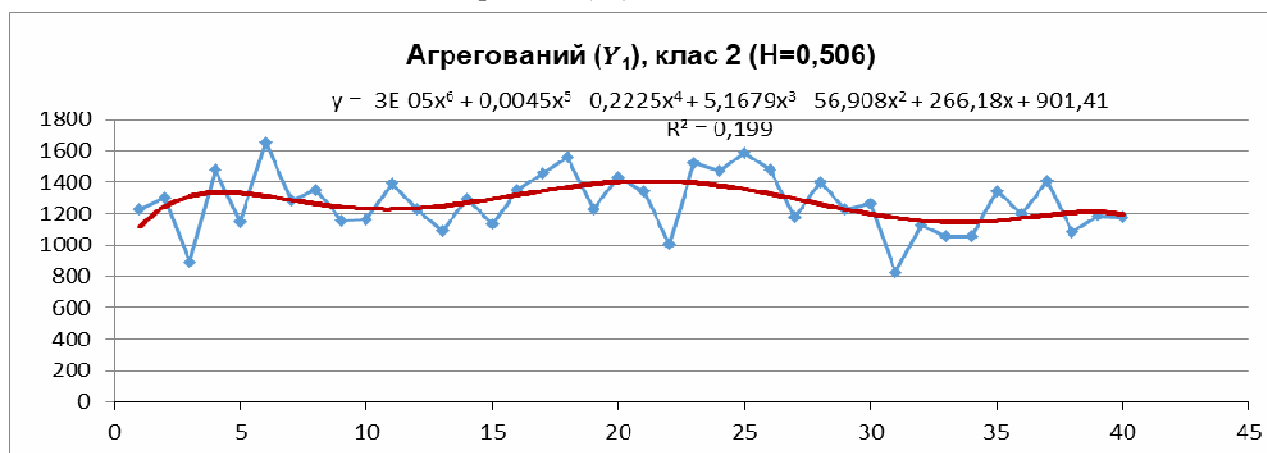


Рисунок 5 - АЧР другого класу $ЧР_i(k=2)$, модель агрегованого ряду Y_1

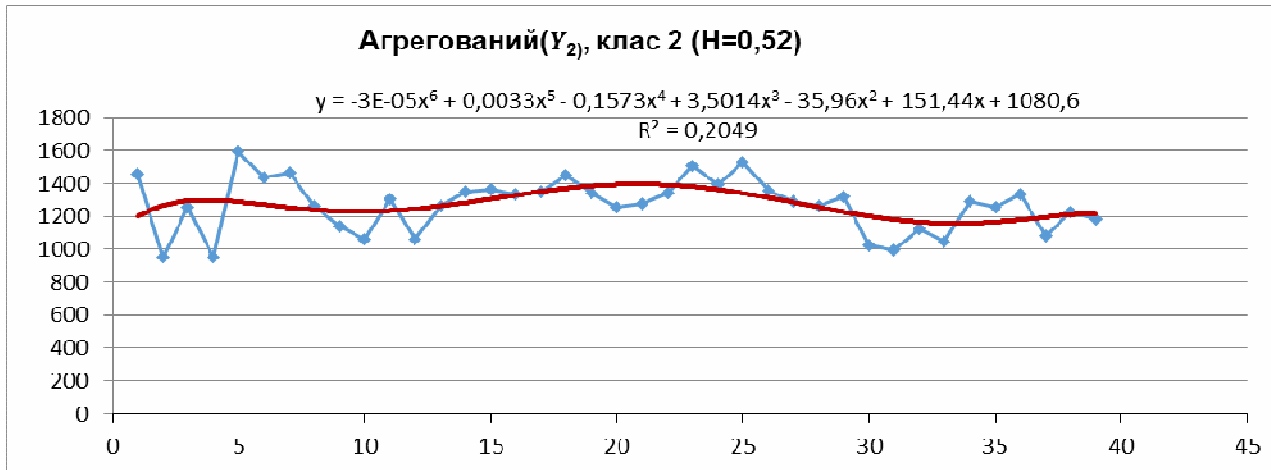


Рисунок 6 - АЧР другого класу $ЧР_i(k=2)$, модель агрегованого ряду Y_2

Для того щоб застосовувати зазначену процедуру інтерполяції до оцінювання та уточнення внутрішніх рівнів ЧР з визначеним класом на основі (2) для ЧР з більш високими класами $k > 2$, необхідно використати наведену нижче систему залежностей, утворених на основі початкового ЧР:

$$\begin{cases} Y_1(1) = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=1}^k \Delta_i; \\ Y_2(1) = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=2}^{k+1} \Delta_i; \\ \dots \dots \dots \\ Y_k(1) = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{i=k}^{k+k} \Delta_i. \end{cases} \quad (3)$$

Відповідно до (3) для розрахунку оцінок рівнів показника всередині інтервалу агрегування для недетермінованих процесів, представлених числовими послідовностями ЧР класу $k > 1$, необхідно утворити « k » нових послідовностей, елементи яких розраховуються шляхом агрегування та визначення середніх значень послідовностей рівнів у рамках діапазонів індексів. Наступні елементи послідовностей агрегованих моделей розраховують подібно (3), але для інших послідовностей індексів елементів ЧР. Наприклад для $Y_1(2)$ $i=(k+1)$ до $i=2k$. Процедура інтерполяції на основі « k » трендів для зміщених $ЧР_i(k)$ дозволяє отримати прогнозні значення для рівнів АЧР всередині інтервалів агрегування.

Приведені результати досліджень засвідчили значні можливості моделей та процедур агрегування для класифікації та планування антиперсистентних процесів на основі показника Херста. Разом з тим залишились не вирішеними питання щодо вибору обчислювально ефективних схем агрегування рівні АЧР,

а також процедур інтерполяції та короткострокового прогнозування таких недетермінованих процесів.

В статті вирішуються питання, що забезпечують розробку алгоритмічних та інструментальних програмних засобів, а також виконання порівняльного аналізу чисельної ефективності алгоритмів коректного дослідження і класифікації АЧР, формування процедур інтерполяції та короткострокового прогнозування АЧР.

Метою дослідження являється підвищення ефективності та точності методів та алгоритмів класифікації, моделювання та прогнозування антиперсистентних часових послідовностей даних спостережень. Об'єктом дослідження є процеси моделювання та аналізу параметрів недетермінованих часових послідовностей АЧР з рівномірним кроком. Предмет дослідження – процедури чисельного аналізу, класифікації та прогнозування моделей АЧР. Одним із завдань роботи є розробка програмного середовища, для дослідження алгоритмів моделювання антиперсистентних ЧР, оскільки виконаний огляд програмних аналогів показав, що натеper відсутні програмні засоби, які призначені для класифікації та моделювання антиперсистентних часових рядів.

Результати та основний матеріал дослідження. Для обґрунтованого застосування методів фрактального аналізу процесів ЧР, подібних до властивостей ЧР-В рис. 1, рис. 2 ін., у розділі представлені спеціалізовані процедури аналізу, що дозволяють: – 1) однозначно та обчислювально ефективно класифікувати АЧР, диференціювати їх шляхом використання певних схем узагальнення послідовних рівнів початкового ЧР, (класи розрізняються за числом об'єднаних поряд розміщених рівнів, то ж і довжинами інтервалів достовірного планування), – 2) виконувати інтерполяцію значень рівнів показників АЧР в середині інтервалів агрегування, – 3) виконувати процедури короткострокового прогнозування величин сумарних об'ємних показників модифікованого ряду за встановлений інтервал (період узагальнення даних), а також оцінок величин за всіма кроками первинного процесу АЧР.

Дослідження чисельної ефективності та точності алгоритмів класифікації та інтерполяції даних антиперсистентних процесів виконані за методикою порівняльного аналізу. При цьому були сформовані та шляхом чисельного експерименту досліджені варіанти схем узагальнення рівнів, за якими можливо утворювати із початкового ЧР нові агреговані моделі різних класів $ЧР_i(k)$. Так для визначення процесів другого класу $ЧР_i(2)$ із початкової послідовності ЧР:

$$fa : ua_1; ua_2; ua_3 ; ua_4; ua_5; ua_6 ; ua_7; ua_8 ; \quad (5)$$

можливі дві очевидні схеми формування агрегованих моделей:

$$fb(2): (ua_1+ua_2)/2; (ua_2+ua_3)/2; \quad fc(2): (ua_1+ua_2)/2; (ua_3+ua_4)/2; \quad (6)$$

Для процесів третього класу $ЧР_i(3)$ можливі такі схеми формування моделей (з fa):

$$fb(3): (ua_1+ua_2+ua_3)/3; (ua_2+ua_3+ua_4)/3; (ua_3+ua_4+ua_5)/3; \quad (7)$$

$$fc(3): (ua_1+ua_2+ua_3)/3; (ua_3+ua_4+ua_5)/3; (ua_5+ua_6+ua_7)/3; \quad (8)$$

$$fd(3): (ua_1+ua_2+ua_3)/3; (ua_4+ua_5+ua_6)/3; (ua_7+ua_8+ua_9)/3; \quad (9)$$

Для процесів 5-го класу $ЧР_i(5)$ можливі наступні схеми формування (з fa (5)):

$$fb(5): (ua_1+ua_2+ua_3+ua_4+ua_5)/5; (ua_2+ua_3+ua_4+ua_5+ua_6)/5; \quad (10)$$

$$fc(5): (ua_1+ua_2+ua_3+ua_4+ua_5)/5; (ua_3+ua_4+ua_5+ua_6+ua_7)/5; \quad (11)$$

$$fd(5): (ua_1+ua_2+ua_3+ua_4+ua_5)/5; (ua_4+ua_5+ua_6+ua_7+ua_8)/5 \quad (12)$$

та остання:

$$ff(5): (ua_1+ua_2+ua_3+ua_4+ua_5)/5; (ua_6+ua_7+ua_8+ua_9+ua_{10})/5 \quad (13)$$

Зрозуміло що при збільшенні номеру класу АЧР відбувається зростання кількості можливих варіантів схем утворення агрегованих моделей із початкового ЧР. Відзначимо два суттєво відмінні варіанти наведених схем – «без перекриття» членів АЧР ($fc(2)$: (6), $fd(3)$: (9) ін.), коли послідовні елементи агрегованих моделей не містять попередні елементи, а також з перекриттям (повторами) членів ЧР fa в новоутворених агрегованих послідовностях, яким відповідають всі інші наведені моделі $ЧР_i(k)$. В моделях агрегованих процесів (6) – (12) наведено приклади кількох початкових рівнів часових рядів $ЧР_i(k)$.

Приклади схем варіантів агрегування даних (6) – (12), призначених для побудови узагальнених коректних математичних моделей недетермінованих процесів, демонструють змістовність і широкі можливості утворення агрегованих моделей процесів у вигляді $ЧР_i(k)$. При цьому необхідно встановити, по-перше, при якій формі агрегування забезпечується можливість та точність класифікації вихідних ЧР, а по-друге, запропонувати алгоритми прогнозування за агрегованими моделями. Такі алгоритми мають також дозволяти виконувати інтерполяцію – розраховувати внутрішні рівні показників процесів $ЧР_i(k)$, використовуючи оцінки інтегрованих величин, отриманих за моделями відповідних трендів.

Приклади моделей $ЧР_i(k=3)$ при застосуванні процедури агрегування (з перекриттям рівнів), отриманих при дослідженні ЧР (рис. 7). На рис. 7 пред-

ставлений приклад початкового антиперсистентного ЧР (АЧР), що було встановлено за класифікацією Херста (1), з показником Херста $H = 0,479$.

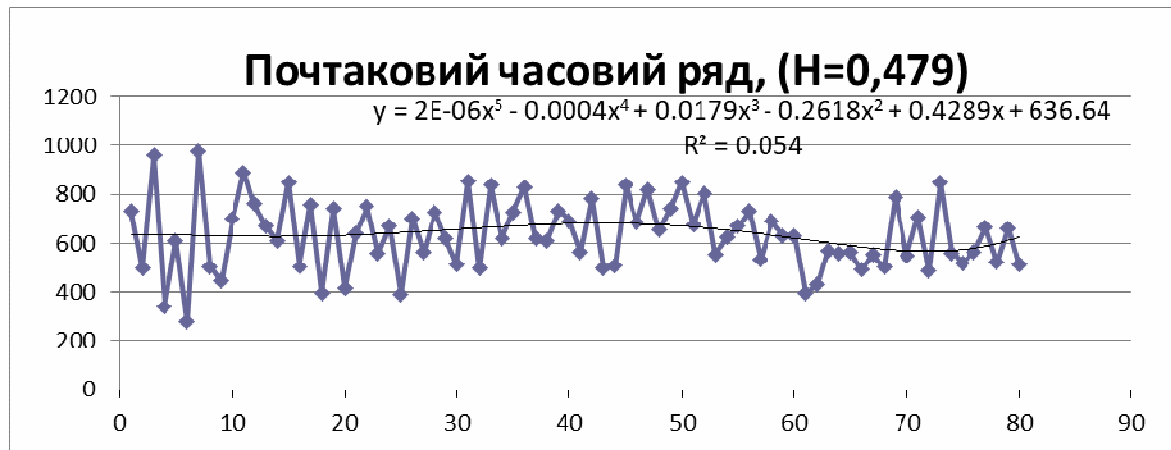


Рисунок 7 – Початковий часовий ряд недетермінованого процесу

За допомогою запропонованої нами процедури агрегування ПКР за раніше наведеною схемою було визначено клас АЧР ($k=3$). При цьому також проведено дослідження різних варіантів схем (7) – (9) формування нових послідовностей ЧР ($k=3$) (з перекриттям та без перекриття рівнів). При цьому утворені наступні агреговані моделі ЧР, фрагменти яких представлені рис. 8 – рис. 11. На рисунках наведені початкові члени нових послідовностей, які відрізняються числом загальних елементів у сформованих рівнях-агрегатах (3).

Зокрема, одним спільним елементом для моделі МА(3_1), двома спільними елементами в моделі МА(3_2), без перетину елементів для МА(3_3). На рисунках також представлено поліноміальні моделі трендів, які розраховані на основі методу найменших квадратів, а також оцінки достовірності поліноміальних моделей (R^2). То ж ці аналітичні моделі представляють узагальнені процеси, що утворені з початкового АЧР.

На основі класифікації за Херстом отримані послідовності (рис.8 – 10) є персистентними, то ж їх застосування при аналізі та прогнозування є припустимим. Використання отриманих математичних моделей агрегованих трендостійких ЧР дає змогу коректно вирішити також завдання інтерполяції, що дозволяє розраховувати оцінки рівнів всередині інтервалів агрегування. Необхідність використання процедур інтерполяції викликана тим, що отримані персистентні моделі агрегованих ЧР дозволяють визначати лише рівні своїх агрегатів. Наприклад, для 3-го класу АЧР ($k=3$) трендостійка модель дасть при аналізі та розрахунку прогнозу сумарне значення для 3-х послідовних рівнів. З метою

практичного використання таких моделей в багатьох випадках необхідно також мати оцінки величин процесу для всіх часових значень.

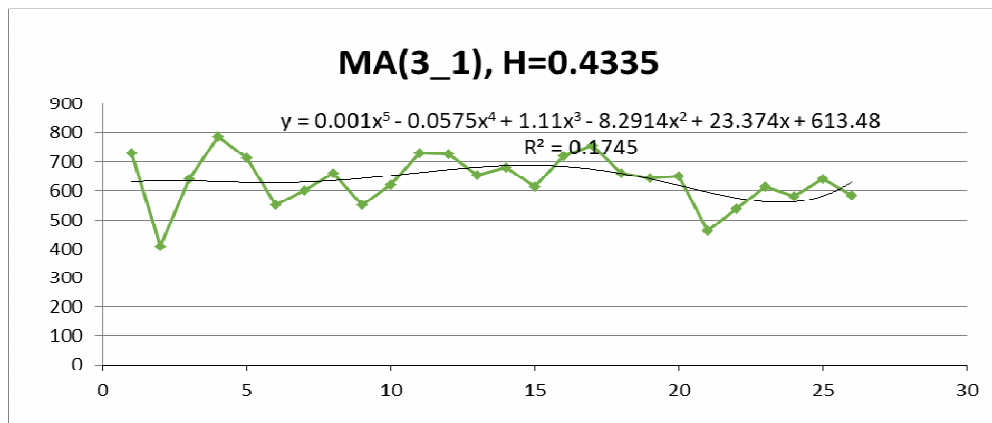


Рисунок 8 – Агрегована модель $ЧР_i(k=3)$ з одним спільним елементом (7)

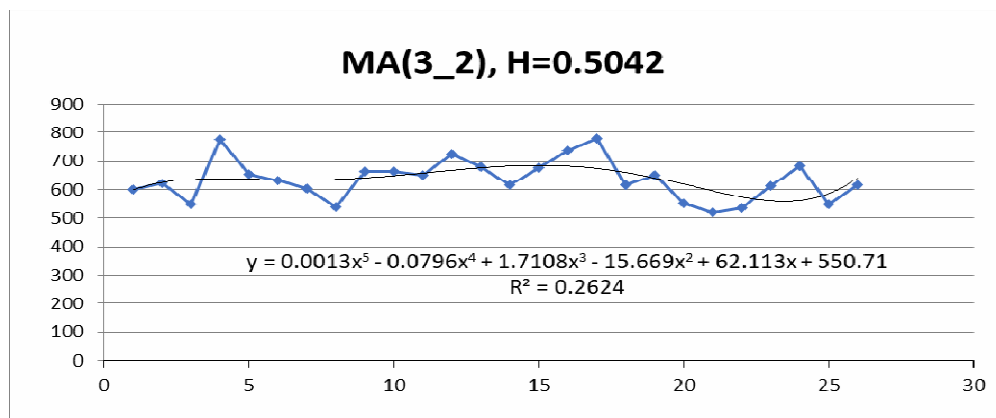


Рисунок 9 – Агрегована модель $ЧР_i(k=3)$ з двома спільними елементами (8)

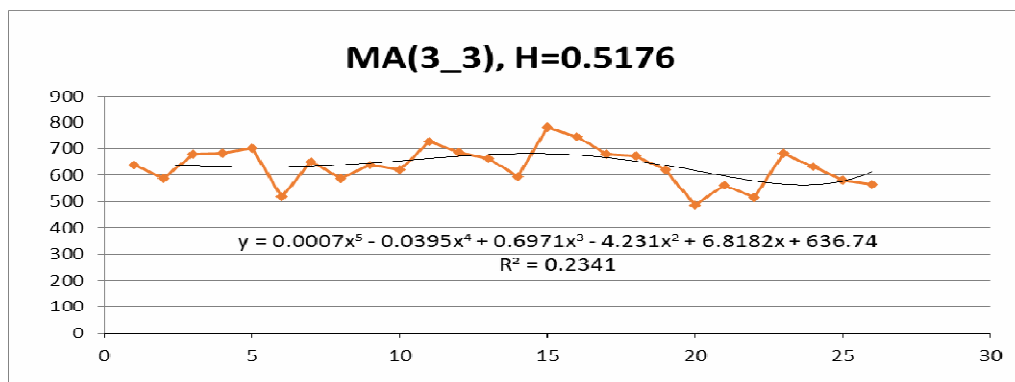


Рисунок 10 – Модель $ЧР$ класу $ЧР_i(k=3)$ для схеми без перекриття рівнів (9), поліноміальна модель та оцінки достовірності (R^2)

У переважній більшості обчислювальних експериментів схеми агрегування з перекриттям рівнів виявилися «нечутливими» до даних при класифікації

ЧР. Майже всі ЧР за такими схемами агрегування мали клас $k=2$. На відміну від цього схеми класифікації на основі агрегування без «перетину» послідовних рівнів дозволили виявити різні класи АЧР. Моделювання та виконаний аналіз показали, що перевагу щодо достовірності класифікації АЧР та точності процедур інтерполяції мають схеми агрегування без перекриття рівнів у послідовних елементах нових утворених ЧР.

Зазначимо можливість використовувати при класифікації АЧР не тільки значення показника Херста $H^*=0,5$ (тобто визначено АЧР(0,5, $k=2$), а й певну іншу, наприклад $H^*=0,6$ (тобто АЧР(0,6, $k=3$)), щоб з більшою «певністю» фіксувати умову закінчення процесу класифікації. Таким чином можуть бути побудовані декілька формальних класифікацій АЧР в залежності від значень граничних величин показника Херста H^* завершення процедур класифікації, або жодної. Остання можливість викликана необґрунтованим вибором значення H^* , що не відповідає процесу ЧР.

Процедури інтерполяції та прогнозування АЧР повинні дозволяти розраховувати внутрішні рівні показників процесів $ЧР_i(k)$, використовуючи оцінки інтегрованих величин, отриманих за моделями відповідних трендів. При цьому для різних варіантів агрегування необхідно було формувати окрему процедуру інтерполяції – розрахунку величин внутрішніх рівнів на основі прогнозних величин для всього діапазону, отриманих на основі системи рівнянь (3). Наприклад, для ($k=3$) за отриманими моделями f_c для розрахування внутрішньо інтервальних значень прогнозних рівнів можливо замість рішення системи рівнянь виду (3) використовувати ($k-1$) початкові значення початкового АЧР. Тоді для розрахунку інтерполяції рівнів достатньо використовувати співвідношення типу (4) замість рішення систем рівнянь:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, \text{ то } \rightarrow y_3 = 3Y_1 - y_1 - y_2 \\ Y_2 &= \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3}, \text{ то } \rightarrow y_4 = 3Y_2 - y_2 - y_3 \\ Y_3 &= \frac{y_3 + y_4 + y_5}{3}, \text{ то } \rightarrow y_5 = 3Y_3 - y_3 - y_4 \end{aligned} \quad (4)$$

При побудові прогнозу використовується наступний загальний алгоритм: Для процесу Y_1 вибирається k -рівнів початкового ЧР, починаючи з $i=1, n$ по k . Для Y_2 – $i=2, n$ по k , і т.п., для всіх Y_j , $j=1, k$, в залежності від схеми агрегування виду (7) – (12). Визначається коефіцієнт Херста (1), за поліноміальною моделлю $ЧР_i(k)$. будується прогноз та розраховується коефіцієнт детермінації (R^2). За

отриманими моделями розраховуються внутрішньо інтервальні значення прогнозних рівнів, для визначення яких використовуються $(k-1)$ початкові значення ряду Y . Наприклад, для $(k=3)$ виду (13). У дослідженнях функціональної ефективності алгоритмів моделювання $ЧР_i(k)$ показано, що різні схеми агрегування дають різні (хоча і досить схожі) математичні моделі одного й того ж самого процесу, які можна застосувати для оперативного прогнозування в умовах невизначеності. Таким же чином послідовно розраховуються всі наступні рівні прогнозного ряду (рис.11).

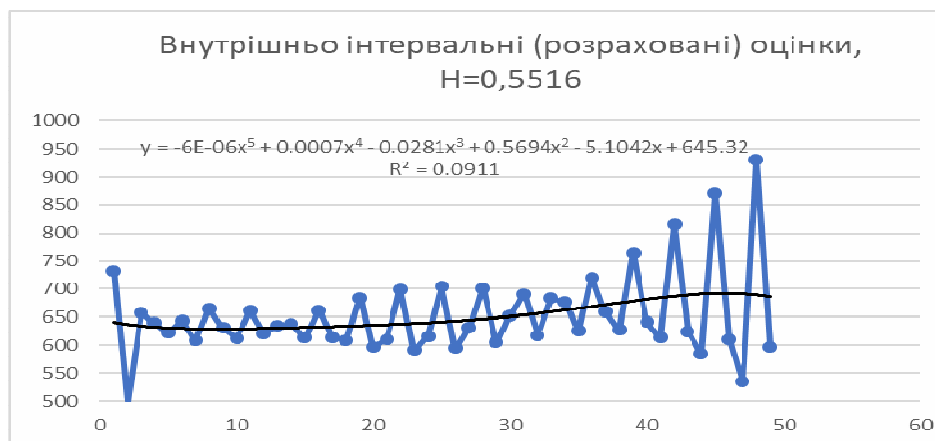


Рисунок 12 – Моделювання прогнозу інтерполяційних оцінок відповідно (4)

Виконані обчислювальні експерименти показали можливість використання запропонованих класифікації $ЧР_i(k)$ лише для короткострокових прогнозів. Для реалізації зазначених алгоритмів інтерполяції та прогнозування рівнів процесів АЧР необхідно мати відповідну структуру їх програмної реалізації, яка забезпечує утворення модельної послідовності що містить всі попередні рівні ЧР.

Інструментальні програмні засоби, створені для дослідження та моделювання наведених вище процесів АЧР відповідно до наведених вище завдань. Діаграма прецедентів (рис. 12) визначає варіанти використання системи аналізу процесів визначених ЧР. На діаграмі представлені наступні функції програми: Ф1 – процедури отримання вхідних даних для дослідження, Ф2 – функція щодо збереження даних та результатів досліджень; Ф3 – відображення графіків моделей процесів; Ф4 – розрахунки оцінок показників Херста для ЧР; Ф5 – побудова класів для моделей за різними схемами агрегування рівнів ЧР; Ф6 – порівняльний аналіз варіантів схем агрегування ЧР; Ф7 – моделювання процесів, представлених ЧР; Ф8 – аналіз моделей процесів ЧР; Ф9 – процедури із формування трендів моделей ЧР; Ф10 – інтерполяція внутрішньо інтервальних даних

для оцінок прогнозів за моделями ЧР; Ф11 – прогнозування процесів за моделями ЧР; Ф12 – процедури оцінювання точності та достовірності (розрахунок R^2) моделей ЧПД; Ф13 – процедури відображення результатів аналізу моделей процесів ЧР; Ф14 – процедури порівняння, виконання аналізу схем агрегування ЧР. В якості базової архітектури програмного комплексу використана архітектура бібліотеки VCL (Visual Component Library).

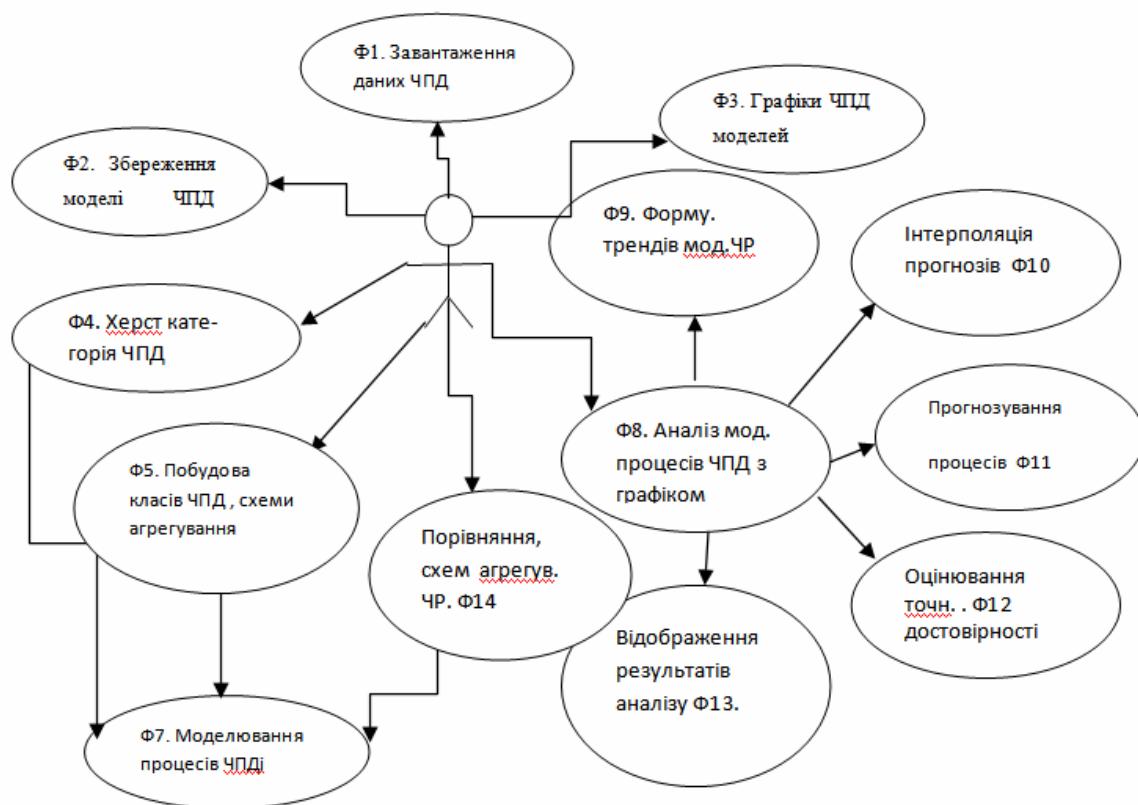


Рисунок 12 – Діаграма варіантів використання при дослідженні ЧР

Висновки. У статті досліджені актуальні завдання щодо класифікації, моделювання і прогнозування АЧР. Наукова новизна результатів роботи визначається наступним. В роботі виконано порівняльний аналіз чисельної ефективності алгоритмів класифікації та короткострокового прогнозування, удосконалено процедуру інтерполяції рівнів агрегованих трендостійких моделей, що забезпечує коректність результатів комп'ютерного моделювання та підвищення точності короткострокового прогнозування показників недетермінованих процесів.

Встановлено, що найбільше детальною та сталою являється класифікація АЧР на основі схем агрегування даних без перетину рівнів. Практичне значення мають результати проведеного порівняльного аналізу чисельної ефективності алгоритмів класифікації АЧР, рекомендації стосовно процедур їх моделю-

вання, а також інструментальні програмні засоби, призначені для автоматизації аналізу АЧР.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhou, Renjie & Yang, Chen & Wan, Jian & Zhang, Wei & Guan, Bo & Xiong, Naixue. (2017). Measuring Complexity and Predictability of Time Series with Flexible Multiscale Entropy for Sensor Networks. *Sensors*. 17. 787. 10.3390/s17040787.
2. Liu, Xiaofeng & Jiang, Aimin & Xu, Ning & Xue, Jianru. (2015). Increment Entropy as a Measure of Complexity for Time Series. *Entropy*. 18. 10.3390/e18010022.
3. Nazzal, Mohammad & Saad, Mohammed. (2018). A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*. 97. 10.1016/j.ecolind.2018.09.062.
4. Moulder, Robert & Daniel, Katharine & Teachman, Bethany & Boker, Steven. (2019). Tangle: A Metric for Quantifying Complexity and Erratic Behavior in Short Time Series. 10.31234/osf.io/23csa.
5. Montesinos, Luis & Castaldo, Rossana & Pecchia, Leandro. (2018). On the use of approximate entropy and sample entropy with centre of pressure time-series. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 15. 116. 10.1186/s12984-018-0465-9.
6. Epskamp, Sacha & Waldorp, Lourens & Möttus, René & Borsboom, Denny. (2018). The Gaussian Graphical Model in Cross-Sectional and Time-Series Data. *Multivariate Behavioral Research*. 53. 1-28. 10.1080/00273171.2018.1454823.
7. Скалозуб В.В., Клименко І. В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологіко-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки. *Економіка: реалії часу. Науковий журнал*. – 2016. – № 4 (26). – С. 149-154. Цитується у базах Google Scholar, Index Copernicus.
8. Скалозуб В. В., Клименко І. В. Метод планирования недетерминированных процессов эксплуатации парка железнодорожных технических систем. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*, 2018, № 5 (77). – С. 7-18.
9. Скалозуб В. В., Жуковицкий І. В, Клименко І. В, Заец А.П..Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в единой автоматизированной системе управления грузовыми железнодорожными перевозками Украины. *Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. пр. – Дніпро*, 2018. – № 3 (116). – С. 153–162.
10. Скалозуб В. В., Клименко І. В. Оценка и прогнозирование параметров временных рядов вагонопотоков на основе специализированной процедуры фрактального анализа. *Наук. вісн. Херсон. держ. ун-ту. Серія : Економічні науки*. – 2016. – Вип. 20, ч. 2. – С. 189-192.
11. Скритник О.Я. Фрактальний аналіз часових рядів даних спостережень за температурою повітря в Україні / О.Я. Скритник, О.А. Скритник, Д.О. Ошурко // *Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія*. – 2013. Т. 2. (29). – С. 89 – 95

12. Бойко Р.О., Загоровська Л.Г., Ярова Т.В. Інформаційне забезпечення задачі прогнозування техніко-економічних показників функціонування технологічного комплексу. Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків, 2013. – Том 3. № 10 (63). – С. 62–64.
13. Долгіх, А.О., Байбуз, О.Г. Порівняльний аналіз ефективності моделей прогнозування часових рядів за допомогою багатокритеріальної процедури на прикладі фінансових показників. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир, 2019. – 83(1), С.131-141.
14. Кораблев, Н.М., Иващенко Г.С. Краткосрочное прогнозирование временных рядов, содержащих аномальные значения, при помощи моделей искусственных иммунных систем. Бионика интеллекта – Харків, 2013. – 2(85), С.95-99.

REFERENCES

1. Zhou, Renjie & Yang, Chen & Wan, Jian & Zhang, Wei & Guan, Bo & Xiong, Naixue. (2017). Measuring Complexity and Predictability of Time Series with Flexible Multiscale Entropy for Sensor Networks. *Sensors*. 17. 787. 10.3390/s17040787.
2. Liu, Xiaofeng & Jiang, Aimin & xu, Ning & Xue, Jianru. (2015). Increment Entropy as a Measure of Complexity for Time Series. *Entropy*. 18. 10.3390/e18010022.
3. Nazzal, Mohammad & Saad, Mohammed. (2018). A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*. 97. 10.1016/j.ecolind.2018.09.062.
4. Moulder, Robert & Daniel, Katharine & Teachman, Bethany & Boker, Steven. (2019). Tangle: A Metric for Quantifying Complexity and Erratic Behavior in Short Time Series. 10.31234/osf.io/23csa.
5. Montesinos, Luis & Castaldo, Rossana & Pecchia, Leandro. (2018). On the use of approximate entropy and sample entropy with centre of pressure time-series. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 15. 116. 10.1186/s12984-018-0465-9.
6. Epskamp, Sacha & Waldorp, Lourens & Möttus, René & Borsboom, Denny. (2018). The Gaussian Graphical Model in Cross-Sectional and Time-Series Data. *Multivariate Behavioral Research*. 53. 1-28. 10.1080/00273171.2018.1454823.
7. Skalozub V.V., & Klymenko Y.V. (2016). The development of analysis and forecasting procedures of non-deterministic technological and economic processes on the basis of indicators of chaotic dynamics. *Economics: Time Realities*, 4(26), 82-90.
8. Skalozub, V. V., & Klymenko, Y. V. (2018) Method for planning non-determined operation processes of railway technical system park. *Nauka ta prohres transport. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 5(77), 7-18.
9. Skalozub, V. V., Zhukovitskiy, I. V., Klimenko, I. V., & Zaets, A. P. (2018). Creation of Intellectual Decision Support Systems in a Unified Automated System for

Managing Rail Freight in Ukraine. Systemni tekhnolohii: Rehionalnyi mizhvuzivskiyi, 3(116), 153-162.

10. Skalozub V.V. & Klymenko I.V. (2016) Estimation and Prediction of the Parameters of Time Series of Traffic Volumes Based on the Specialized Procedures of the Fractal Analysis. Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu, 20 (II), 189-192.

11. Skrynyk, Oleg & Skynyk, Olesya & Oshurok, Dmytro. (2013). Fractal analysis of air temperature time series collected in Ukraine. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2(29). 89-95.

12. Boyko, R. O., Zagorovska, L. G., & Yarova, T. V. (2013) Informative Providing of Task of Prognostication of Feasibility Indicators of Functioning of Technological Complex. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(10), 62-64.

13. Dolgih, A.O. and Bajbuz, O.G. (2019) Comparative analysis of time series forecasting models effectiveness by means of a multi-criteria procedure on the example of financial indicators. "The Journal of Zhytomyr State Technological University"? Section 1: Engineering, 1(83), 130-141.

14. Korablev, N.M, and Ivashchenko G.S. (2015) Application of the models of artificial immune systems for short-term forecasting of time series containing abnormal values. Bionics of Intelligense: Sci. Mag, 2 (85), 95-99.

Received 30.03.2022.

Accepted 01.04.2022.

***Models and procedures for classification and forecasting
of nondeterministic processes according to chaotic dynamics parameters***

The article investigates the processes of classification, modeling and short-term prediction of nondeterministic time sequences, which are represented by antipersistent time series (ATS). The subject of analysis - procedures for classification and forecasting the parameters of such models. The object of research is the processes of modeling and analysis of parameters of nondeterministic time series of ATS with a uniform step. The aim of the work is to increase the efficiency and accuracy of methods and algorithms for classification, modeling and forecasting of ATS. Models and methods of fractal analysis are used to study the properties of ATS, on the basis of which the categories of processes of numerical series are established. With the help of aggregation of ATS levels correct mathematical models of classification of nondeterministic time sequences are developed, and also algorithmic and software means of their realization are formed. Examples of models of numerical series obtained using the aggregation procedure presented in the study are given. It is established that the most detailed and stable is the classification of ATS based on data aggregation schemes without level crossing. The comparative analysis of numerical efficiency of algorithms of classification of ATS is carried out and the task of formation of procedures of interpolation and short-term forecasting of ATS is realized. An instrumental software environment is presented, which provides a correct study of algorithms for modeling and classification of antipersistent time series. Recommendations on the procedures for modeling ATS classification algorithms are of practical importance.

Скалозуб Владислав Васильович - професор, каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро.

Горячкін Вадим Миколайович – зав. кафедрою «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро.

Клименко Іван Вікторович – ас. кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро.

Шваповал Данило Олегович – магістр кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро.

Skalozub Vladislav – professor, Department “Computer and Information Technology”, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro.

Horiachkin Vadim – head of Department “Computer and Information Technology”, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro.

Klymenko Ivan – assistants of Department “Computer and Information Technology”, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro.

Shapoval Danylo – magister of Department “Computer and Information Technology”, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro.

М.Ю. Узлова, А.О. Журба, В.М. Журавлев, Г.І. Ларіонов

РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ В СИСТЕМІ OPENSCAD

Анотація. Сучасний світ знаходиться в постійному русі і розвитку. Змінам піддається все, починаючи від проектування дизайну звичайних телефонів і закінчуючи методами будівництва космічних станцій. І те, і інше вимагає деяких навичок, способів і знань в області побудови зображень і читання креслень. Старі 2D-методи поступово відходять у минуле, на зміну їм приходять 3D побудови моделей в спеціальних програмах.

Проектуючи в 3D, можна створювати моделі будь-яких предметів: дрібних деталей, меблів, предметів, об'єднувати їх в дизайн квартир і офісів, автомобілів і вагонів метро, величезних торгових центрів, вулиць, кварталів, і навіть цілих міст. Або зробити віртуальну модель реальної, роздрукувавши на 3D принтері, відбудувавши будинок за власним проектом.

На етапі дослідження були розглянуті питання, присвячені огляду програм для 3D-моделювання. Розглянуто основні відомості про OpenSCAD – можливості, переваги, недоліки.

При виконанні практичної частини було проведено 3D-моделювання будівлі Інституту промислових та бізнес технологій, яке включає в себе наступні етапи:

- побудова геометричної 3d-моделі об'єкта;
- рендеринг;
- по закінченню моделювання - виведення роботи на 3D-принтер.

Ключові слова: 3D-моделювання, твердотільне моделювання, параметричне моделювання, OpenSCAD, примітивні фігури, 2D фігури, рендеринг, STL формат, 3D-принтер, 3D-модель.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасний світ знаходиться в постійному русі і розвитку. Змінам піддається все, починаючи від проектування дизайну звичайних телефонів і закінчуючи методами будівництва космічних станцій. І те, і інше вимагає деяких навичок, способів і знань в області побудови зображень і читання креслень. Старі 2D-методи поступово відходять у минуле, на зміну їм приходять 3D побудови моделей в спеціальних програмах.

Поняття 3D, яке так міцно влаштувалися в нашому житті, є скороченням від англійського 3-dimensional (в трьох вимірах).

Перевагами 3D-моделювання є:

- більш наочне уявлення виробу, ніж при двовимірних методах;
- відсутність потреби в додатковому побудуванні фізичної моделі;
- відносно швидке отримання креслень і макетів виробів;
- функціональність;
- можливість автоматизованого розрахунку різних властивостей виробів;
- гнучкість зміни моделі [1].

Ще не так давно виробництво майстер-моделі та виготовлення прототипів було складним і важким процесом, прототипи виготовляли вручну на базі складних напрацювань і креслень. Тепер, з появою 3D-технологій, дані процеси значно спростилися і стали набагато більш оперативними.

3D-моделювання - це безмежні можливості. Тривимірні моделі, анімація, візуалізація - узагальнений, але далеко не повний список можливостей. Проектуючи в 3D, можна створювати моделі будь-яких предметів: дрібних деталей, меблів, предметів, об'єднувати їх в дизайн квартир і офісів, автомобілів і вагонів метро, величезних торгових центрів, вулиць, кварталів, і навіть цілих міст. Результат можна не тільки «покрутити» (предмет, персонаж) або «погуляти» по ньому (приміщення, міста), але і створити відео для демонстрації клієнтові, власний анімаційний мультфільм. Або зробити віртуальну модель реальної, роздрукувавши на 3D принтері, відбудувавши будинок за власним проектом [2].

Для виконання роботи було обрано ПЗ OpenSCAD. При невеликому розмірі редактора, він володіє вражаючою функціональністю, дозволяє проектувальнику моделювати досить складні та точні 3D-моделі і параметричні конструкції, які можна легко регулювати, змінюючи параметри.

Редактор OpenSCAD відноситься до класу так званих скриптових редакторів. У ньому відсутні звичні для інших 3D-редакторів кнопки, тулбари, іконки. Замість цього при запуску з'являться три панелі - пусте вікно для введення тексту, вікно візуалізації і консоль. Решта кнопок відіграють допоміжну роль і у моделюванні не беруть участь. У OpenSCAD доступний весь інструментарій програміста: цикли, розгалуження, виклик функцій, розбиття коду на модулі, створення бібліотек; можна використовувати математичні функції для розрахунку необхідних параметрів моделей і досить швидко прототипувати дуже складні речі, збираючи їх з простих елементів [3].

Метою цієї роботи є розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ) в системі OpenSCAD.

Викладення основного матеріалу дослідження. 3D-моделювання – комп'ютерна графіка, що поєднує в собі прийоми і інструменти, необхідні для створення об'ємних об'єктів в тривимірному просторі. Тривимірна графіка незамінна у презентації майбутнього виробу. Для того, щоб розпочати виробництво необхідно намалювати, а потім створити 3D-модель об'єкту. А вже на основі 3D-моделі, за допомогою технологій швидкого створення прототипів (3D-друк, фрезерування, лиття силіконових форм і т.д.), складається реалістичний прототип майбутнього виробу. За допомогою тривимірної графіки досягається максимально реалістичне моделювання міської архітектури і ландшафтів з мінімальними витратами. Візуалізація архітектури будівель і ландшафтного оформлення дає можливість інвесторам і архітекторам відчувати ефект присутності в спроектованому просторі. Це дозволяє об'єктивно оцінити переваги проекту та усунути недоліки.

В ході виконання 3D-моделі слідують за таким планом:

- моделювання (створення математичної бази);
- текстурування (введення властивостей об'єктів);
- візуалізація (проекційна побудова);
- компонування (завершальний етап, на якому отримана модель коригується) [4-5].

У межах теми роботи при написанні скрипта моделі використовувалися параметричні конструкції в середовищі тривимірного моделювання OpenSCAD.

Для побудови моделі архітектурного комплексу будівель УДУНТ було використано матеріали: план креслення УДУНТ, фотографії, додаток «Google Maps» у режимі «Супутник» - для отримання інформації про пропорції і розміри (вид зверху).

Етапи побудови

Розробка головного корпусу

Для побудови стін корпусу було використано найпростіший геометричний примітив – прямокутна призма (команда cube). Для розміщення об'єктів в певних місцях використовується операція трансформації(команда translate). Для забарвлення моделі і її частин застосовується функція color (команда color). Результат наведено на рис. 1.

```
color("yellow") cube([3, 165, 65]);  
color("yellow") translate([-34, 0, 0]) cube([34, 2, 65]);  
color("yellow") translate([-34, 163, 0]) cube([34, 2, 65]);
```



Рисунок 1 - Побудова стін головного корпусу

Додаткові елементи стін

Використання параметричного підходу в моделюванні 3D-об'єктів значно скорочує процес їх побудови і дозволяє легко модифікувати, а також багато разів повторно використовувати наявні напрацювання.

При моделюванні додаткових елементів стін використовуються повторювані (циклічні) компоненти для зручності і стислості кодування, тому що в іншому випадку довелося б для кожного елемента прописувати окремо команди (команда for).

```
color("white") {  
  translate([2, 0, 10]) cube([3, 165, 3]);  
  translate([2, 14, 11]) for(i=[0:17]){  
    translate( [0, i*8, 0] ) cube([3, 2.5, 42]);    }  
}
```

Моделювання цоколю та карнизу

```
color("white") {  
  translate([1, 0, 60]) cube([3, 165, 3]);  
  translate([2.2, 0, 60]) cube([3, 165, 2]); }  
color("yellow") translate([-2, 2, 65]) cube([3, 161, 2]);  
color("white") translate([-37.5, -2, 60]) cube([42.7, 3, 2]);  
color("white") translate([-34.8, 164, 60]) cube([40, 3, 2]);
```

Результат наведено на рис. 2.

Віконні прорізи

У моделі є повторювані фрагменти, тому, замість того, щоб копіювати / вставляти текст скрипта кожного фрагмента, зручніше ці фрагменти уявити один раз у вигляді модуля і при необхідності багаторазово використовувати.

Модулі дозволяють розбивати складні завдання на більш дрібні і прості (команда `module name`).

При моделюванні вікон також використовуються повторювані компоненти (команда `for`). Потім за допомогою булевої операції вирізаються віконні прорізи (команда `difference`). Результат наведено на рис. 2.

```
difference() {
    stena_gl();
    translate([-1, 8.8, 15]) for (y=[0:18],z=[0:4]) {
    translate([0, y*8, z*8]) cube(5);      }    }
    difference() {
    color("yellow") translate([-34, 0, 0]) cube([34, 2, 65]);
    translate([-31, -1, 16]) for (a=[0:4],b=[0:4]) {
    translate([a*7, 0, b*8]) cube([3.5, 5, 5]);    }    }
    difference() {
    color("yellow") translate([-34, 163, 0]) cube([34, 2, 65]);
    translate([-29.7, 161, 15]) for (a=[0:4],b=[0:4]) {
    translate([a*6, 0, b*8]) cube([3.5, 5, 5]);    }    }
```

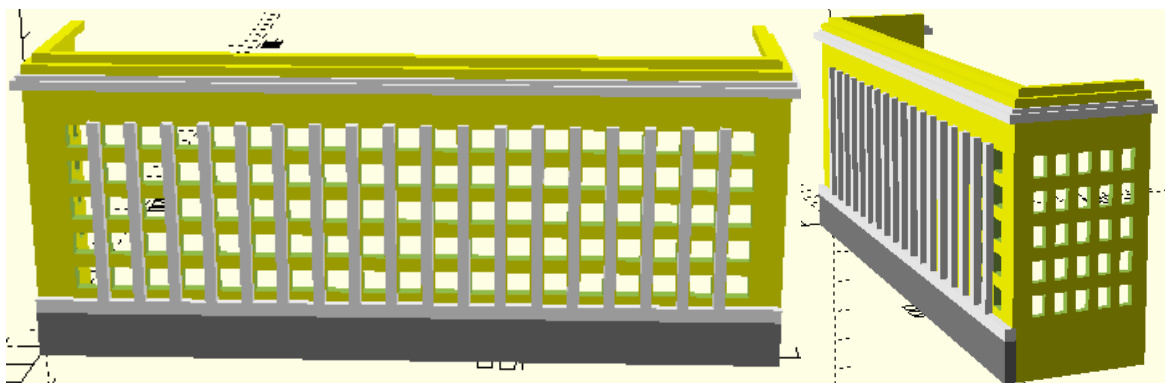


Рисунок 2 - Стіни головного корпусу з віконними прорізами

Розробка тилової частини головного корпусу

Для побудови ділянки сходових прольотів для тилової частини будівлі було використано циліндр з параметром $\$fn$ (команда `cylinder`).

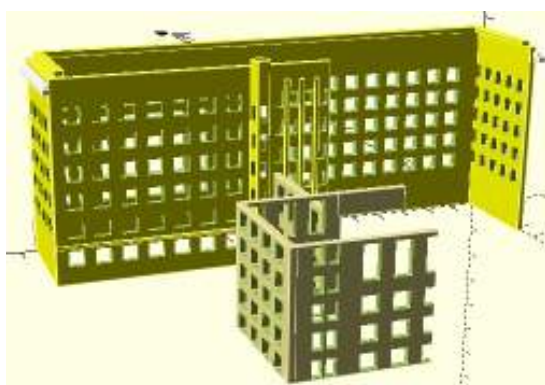
Змодельовану ліву частину цієї ділянки будівлі разом зі сходовими прольотами було розміщено у модулі для подальшого використання (команда `module name`). Результат наведено на рис. 3 (а).

```
module mirror_z() { difference() {
    union() { difference() {
    color("yellow") translate([-34.8, 75, 0]) cube([2,90, 65]);
    translate([-35, 105, 6]) for (a=[0:6],b=[0:5]) {
    translate([0, a*8.5, b*9]) cube(5);    }
```

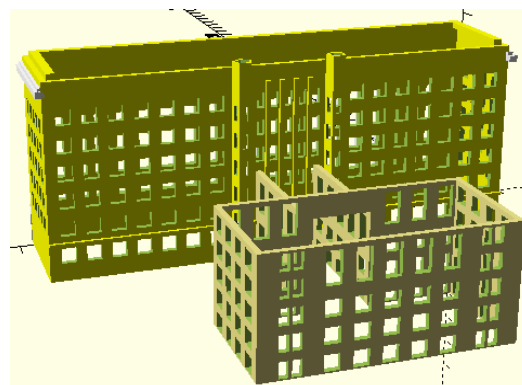
```

translate([-36, 76, 6]) for (a=[0:3],b=[0:5]) {
  translate([0, a*5, b*9]) cube([5, 2.8, 5]);      } }
color("yellow") translate([-36, 79.2, 6]) for(i=[0:2]){
  translate( [0, i*5, 0] ) cube([3, 1.5, 54]);      }
color("yellow")translate([-36, 75, 12]) cube([2, 90, 1]);
difference() {
  color("yellow") translate([-36, 99, 0]) cylinder($fn = 5, h
= 67, r = 3.5);
  translate([-39.5, 98, 3]) windows_for_cylinder();
  translate([-37.5, 100, 3]) rotate([0, 0, 18]) win-
dows_for_cylinder();}}
translate([-35, 96, 0]) cube([3, 6, 65]);
translate([-36, 99, -1]) cylinder($fn = 5,h =69, r = 2.5);}
module windows_for_cylinder() {
  for(a=[0:5]) { translate([0, 0, a*9]) cube([2, 2, 5]);    }}
  difference() { color("khaki") {
    translate([-121, 121, 0]) cube([39,2,37]);
    translate([-121, 82, 0]) cube([2,41,37]);
    translate([-83, 72, 30]) cube([2,21,7]);      }
    translate([-80, 90, 0.5]) for(x=[0:4],z=[0:1]){
      translate([9*x, 0, 17]) cube([5, 5, 10]);
      translate([9*x, 0 ,8*z]) cube(5);          }
    translate([-85, 97, 0.5]) for(y=[0:2],z=[0:2]){
      translate([0, 9*y, 25]) cube([5, 5, 10]);
      translate([0, 9*y ,8*z]) cube(5);          }
    translate([-116.5, 119, 0.5]) for(x=[0:3],z=[0:4]){
      translate([9*x, 0 ,7.5*z]) cube(5);          }      }      }
  mirror_z();

```



a



b

Рисунок 3 - Тилова частина головного корпусу:

a - змодельована ліва ділянка, b – стіни (результат операції трансформації)

З метою спрощення роботи, для однакових симетричних фрагментів була використана операція трансформації - відображення, тобто, ліва ділянка тильної частини будівлі відображена дзеркально (команда `mirror`). Результат наведено на рис. 3 (b).

```
mirror([0,1,0]){ translate([0, -165, 0]) mirror_z(); }
```

Дахи будівель головного корпусу

Для побудови дахів корпусу було використано найпростіший геометричний примітив – прямокутна призма (команда `cube`).

Для розміщення об'єктів в певних місцях використовується операція трансформації (команди `translate`). Результат наведено на рис. 4.

```
color("yellow") {  
  translate([-36, 99, 67]) cylinder($fn = 5, h = 2, r1 = 4.5,  
r2 = 0);  
  translate([-18, 110, 67.5]) cube([2]);  
  translate([-33, 2, 65]) cube([3, 161, 2]); }  
color("khaki") {  
  translate([-120, 43, 37]) cube([38,79,2]);  
  translate([-83, 72, 28]) cube([48,20,2]); }  
color("white"){  
  translate([-37.5, 0, 60]) cube([3, 167, 2]);  
  translate([-36, 0, 62]) cube([3, 166, 1]); }
```

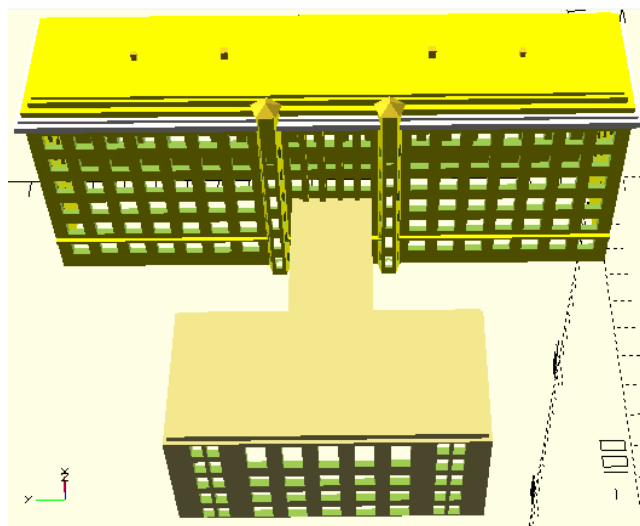


Рисунок 4 - Дахи будівель головного корпусу

Побудова ганку

При моделюванні сходів використовуються повторювані (циклічні) компоненти в осях x, z з відхилом 1 мм (команда `for`).

Текстову назву навчального закладу над ганком реалізовує функція text (команда text). Результат наведено на рис. 5.

```
color("white") {  
  translate([-0.2, 60, 20]) cube([20, 46.5, 2]);  
  translate([-0.2, 63, 0]) cube([12, 1.3, 20]);  
  translate([-0.3, 102, 0]) cube([12, 1.3, 20]);}  
difference(){  
  color("white") translate([11, 63, 5]) cube([1.3,40.5, 15]);  
  translate([10, 64.8, 0]) for (a=[0:4]) {  
    translate([0, a*8, 0]) cube([3, 5, 18]);      }  }  
  color("white") {  
    translate([0, 60, 0]) cube([25, 4, 7]);  
    translate([0, 102.5, 0]) cube([25, 4, 7]);  
    translate([23.5, 62, 0]) for(l=[0:4]) {  
      translate([- (1*1), 0, 1*1]) cube([1, 41,1]);      }  
      translate([10.5, 62, 5]) cube([9, 41,1]); }  
    color("blue") translate([19.8, 60.6, 20.3]) rotate([90, 0,  
90]) text (text="НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ",  
language ="ua", font ="Timer New Roman", size= 1.3);
```



Рисунок 5 - Ганок головного корпусу

Розробка корпусу приймальної комісії та корпусу А

Побудова стін, віконних і дверних отворів аналогічні подібним операціям при виконанні моделі головного корпусу з урахуванням параметрів будівлі.

```
difference(){ color("yellow") {  
  translate([-12, -18, 0]) cube([1.5, 18, 41]);  
  translate([-26, -18, 0]) cube([2, 18, 41]);  
  translate([-26, -18, 41]) cube([15.5, 18, 1.5]);  
  translate([-26, -18.5, 42]) cube([18, 2, 2]);}  
  translate([-27, -14, 10]) for (x=[0:1],y=[0:1],z=[0:2]) {  
    translate([x*13, y*7, z*10]) cube(5);      } }
```

```
difference() { union() {
color("yellow") translate([-12,-18.5,0])cube([93, 2, 44]);}
for(x=[0:10],z=[0:1]){
translate([-2,-19,5]) translate(7*x,0,18.2*z))
cube([4,4,7]);
    translate([-2, -19, 15]) translate( [7*x, 0, 17*z] )
cube(4); }
    translate([47, -19, 0]) for(i=[0:2]){
    translate( [7*i, 0, 1] ) cube([4, 4, 7]);          }      }
    difference() { color("yellow") {
    translate([79, -222, 0]) cube([2, 205, 44]);
    translate([44, -222, 0]) cube([2, 163, 44]);}
    translate([42, -220,5]) for(x=[0:1],y=[0:28],z=[0:3]){
    translate([x*36, y*7, z*10]) cube(5);      }}
    difference() { color("yellow") translate([44, -222, 0])
cube([36, 2, 44]);
    translate([46, -224, 5]) for(x=[0:4],z=[0:3]){
    translate([x*7, 0, z*10]) cube(5);          }      }
    difference() { color("yellow") translate([-34, -59, 0])
cube([79.5,2 , 44]);
    translate([-32.5, -61, 5]) for(x=[0:10],z=[0:3]){
    translate([x*7, 0, z*10]) cube(5);          }      }
    difference() { color("yellow") translate([-34, -59, 0])
cube([2, 41, 44]);
    translate([-36, -57, 5]) for(y=[0:5],z=[0:3]){
    translate([0, y*6.4, z*10]) cube(5);          }      }
    color("yellow") translate([-34, -18.5, 0]) cube([9.5,
2,44]);

//Копіює А
difference() { color("silver") {
translate([30, -215, 21]) cube([15, 1.8, 12]);
translate([30, -215, 21]) cube([15, 8, 1.8]);}
translate([31, -217, 25]) for(x=[0:1],y=[0:1]){
translate([7*x, 7*y, 0]) cube(5);          }      }
difference() { color("silver") {
translate([-70, -222, 0]) cube([100, 2,62]);
translate([28, -222, 0]) cube([2, 22,62]);
translate([-70, -222, 0]) cube([2, 22,62]);
translate([-70, -200, 0]) cube([100, 2,62]); }
translate([-72, -225, 25]) for(x=[0:3],y=[0:1],z=[0:3]){
translate([27*x, 20*y,8*z]) cube([26, 10, 5]);
translate([27*x, 20*y, -19]) cube([26, 10, 16]);          }
```



```
color("silver") {translate([-70,-222,60.5])
cube([100,22,1.5]);
translate([-70, -222, 0]) for(x=[0:1],y=[0:1]){
translate([99*x, 23*y,0]) cube([1, 1, 62]);      }      }
```

Результат наведено на рис. 6 (а).

Додаткові елементи стін

При моделюванні колон і елементів оформлення дверних прорізів використовуються повторювані (циклічні) компоненти (команда for).

Для реалізації колон використовується циліндр (команда cylinder), підстави колон оформлено торами, які отримали шляхом обертання кола (команди circle, rotate_extrude). Верхівки колон виконано за допомогою циліндра, а щоб отримати грані на них, застосовано параметр \$fn.

```
color("white") for(i=[0:2]) { translate( [7*i, 0, 0] ) {
  translate([46, -17, 1]) cube([1, 1, 12]);
  translate([51, -17, 1]) cube([1, 1, 12]);
  translate([46, -17, 12]) cube([6, 1, 1]);      }      }
color("white") {
  translate([-12, -17.2, 21.4]) cube([93, 1, 1]);
  translate([-12, -17, 31]) cube([93, 1, 0.8]);
  translate([-12, -17, 30.4]) cube([93, 0.7, 0.7]);      }
color("grey")translate([36, -17, 0]) cube([40,10,1]);
color("yellow") translate([36, -17, 37]) cube([40,10,7]);
color("white") {
  translate([-12, -17, 39]) cube([93, 1, 1]);
  translate([-12, -16.5, 40]) cube([93, 1.5, 1.5]);
  translate([35.5, -16.5, 39]) cube([1,10,1]);
  translate([35, -16.5, 40]) cube([1.5,10,1.5]);
  translate([35.5, -7.5, 39]) cube([41,1,1]);
  translate([35, -7.5, 40]) cube([42,1.5,1.5]);
  translate([75.5, -16.5, 39]) cube([1,10,1]);
  translate([75.5, -16.5, 40]) cube([1.5,10,1.5]);      }
module kolonna() {
  color("grey") translate([36, -12, 1]) cube([5,5,1]);
  color("grey") translate([38.5, -9.5, 2.2])
rotate_extrude(convexity=10,$fn=200) translate([2,0])
circle(0.5);
  color("grey") translate([38.5, -9.5, 2.9])
rotate_extrude(convexity=10, $fn=200) translate([1.9, 0])
circle(0.3);
  color("white") translate([38.5, -9.5, 2]) cylinder($fn =
200, h = 33, r = 1.7);
```

```
color("orange") translate([38.5, -9.5, 34])
rotate_extrude(convexity=10,$fn=200) translate([1.9,0])
circle(0.3);
color("orange") translate([38.5, -9.5, 34]) cylinder($fn =
10, h = 3, r1 = 1.8, r2 = 2.5); }
for(i=[0:5]) { translate([7*i, 0, 0]) kolonna();}
```

Результат наведено на рисунку 3.6 (b).

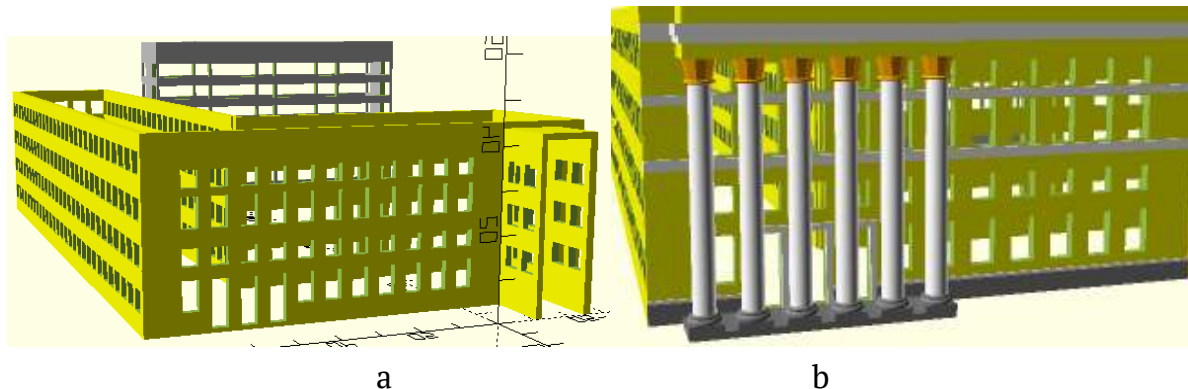


Рисунок 6 - Моделювання корпусу приймальної комісії:

a - стіни з віконними і дверними отворами, b - додаткові елементи

Дах

Дах має нестандартний вигляд, тому логічніше вдатися до можливостей багатокутника. В дану фігуру входять неправильні форми як з увігнутими, так і з опуклими краями, крім того, можна розмістити отвори всередині цієї форми (команда `polygon`). Результат наведено на рис. 7.

```
color("yellow") translate([0, 0, 42]) linear_extrude
(height = 2) { polygon(points=[[-34,-16.5],[36, -16.5],[36, -
7],[76, -7],[76,-16.5],[81,-16.5],[81,-222],[44,-222],[44,-
59],[-34, 59],[42,-25],[69,-25],[69,-45],[42,-45]] ,
paths=[[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9],[10,11,12,13]]);}
```

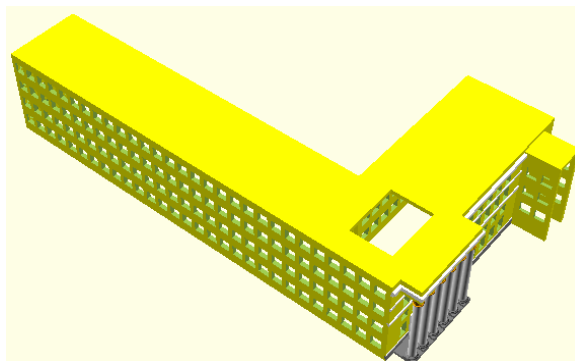


Рисунок 7 - Дах

Розробка корпусу магістратури та корпусу Б

Моделювання стін та віконних, дверних отворів аналогічне з попередніми будівлями з урахуванням параметрів корпусу магістратури та корпусу Б. Результат наведено на рис. 8.

```
difference() {
  color("yellow") translate([-48, 183, 0]) cube([100, 2,40]);
  color("grey") translate([-48, 182, 0]) cube([100, 2,12]);
  translate([-45.5, 181, 2]) for (x=[0:13],z=[0:3]) {
    translate([x*7, 0, z*10]) cube([3.5, 6, 6]);    }}
  difference() { union() {
    color("grey") translate([72, 182, 0]) cube([3, 16,12]);
    color("yellow") translate([72, 183, 0]) cube([2, 15,50]); }
    translate([54, 181, 2]) for (x=[0:2],z=[0:4]) {
      translate([x*7, 0, z*10]) cube([3.5, 6, 6]);    }
    translate([70, 185, 2]) for (y=[0:1],z=[0:4]) {
      translate([0, y*7, z*10]) cube([6, 3.5, 6]);    } }
    color("yellow") for (z=[0:2]) {
      translate([0,0,z*10]) {
        translate([72, 180, 9]) cube([5, 19,3.5]);
        translate([65, 180, 9]) cube([7, 5,3.5]); } }
      difference() { color("yellow") {
        translate([72, 198, 0]) cube([5, 2,40]);
        translate([75, 272, 0]) cube([2, 53,30]);}
        translate([73, 200, 2]) for (y=[0:20],z=[0:3]) {
          translate([0, y*6, z*10]) cube([6, 3.5, 6]);    }
          translate([73, 235.4, 0]) for (y=[0:2]) {
            translate([0, y*6, 0]) cube([6, 5, 10]);    }
            translate([73, 295.3, -1]) cube([6, 5, 9]);
            translate([73, 295, 20]) cube([6, 5.5, 9]); }
          color("yellow") translate([76.5, 234, 10]) cube([2, 20,2]);
          color("white") translate([75, 234.5, 0]) for (y=[0:3]) {
            translate([0, y*6, 0]) cube([3, 1,10.5]);    }
            color("grey") translate([76.5, 234, 0]) cube([3.5, 20,1]);
            difference() { color("peru") {
              translate([-13, 311.2, 0]) cube([2, 9.8,30]);
              translate([-48, 184, 0]) cube([2, 48,40]);
              translate([-34, 232, 20]) cube([2, 83,10]);}
              translate([-16, 314, 2]) for (z=[0:2]) {
                translate([0, 0, z*10]) cube([6, 4, 6]);    }
                translate([-50, 235, 10]) for (y=[0:7]) {
                  translate([0, y*8, 0]) cube([5, 3, 5]);    }
                  translate([-37, 234, 5]) for (y=[0:5],z=[0:1]) {
                    translate([0, y*14.4, z*16]) cube(6);    } }
                }
```

```
color("peru") {  
  translate([-13, 319, 0]) cube([2, 7,15]);  
  translate([-48, 232, 20]) cube([14, 2,20]);}
```

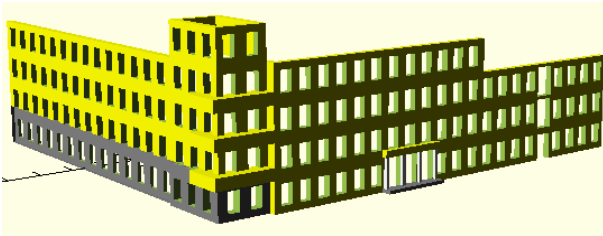


Рисунок 8 - Стіни з отворами

Для створення закруглення з правої сторони фасаду корпусу магістратури використано циліндри (команда `cylinder`). Внутрішній циліндр розтягнуто (команда `resize`), а потім застосовано булеву операцію віднімання (команда `difference`). В подальшому відібраний фрагмент розміщено у модулі (команда `module name`) та відображено дзеркально (команда `mirror`).

```
module cylinder_st() { difference() {  
  color("yellow") translate([75, 334, 0]) cylinder($fn =  
200, h =30, r = 10);  
  translate([71, 334, -1]) resize([25,20]) cylinder($fn =  
100, h =35, r = 8);  
  translate([80, 325, 2]) rotate([0,0,35]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);      }  
  translate([84, 341, 2]) rotate([0,0,202]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);      }  
  translate([76, 341, 2]) rotate([0,0,-10]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);      } } }  
  cylinder_st();  
  mirror([1,0,0]){ translate([-120, 0, 0]) cylinder_st();}
```

Результат наведено на рис. 9 (a).

Бібліотека

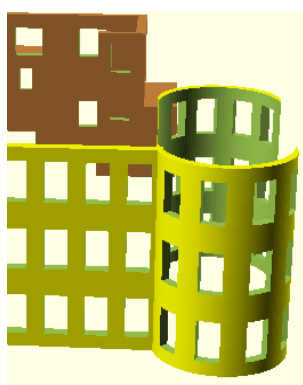
Результат наведено на рис. 9 (b).

```
module wind_library() { for (x=[0:1],z=[0:1]) {  
  translate([x*3.5, 0, z*3.5]) cube(2.5);      } }  
  difference() { translate([-12, 311.2, 0]) {  
    color("white") cube([55, 1.8,40]);  
    color("sienna") cube([55, 2,6.5]);      }  
    color("blue") { translate([-6, 311, -2.5]) for  
(x=[0:1],z=[0:4]) {
```

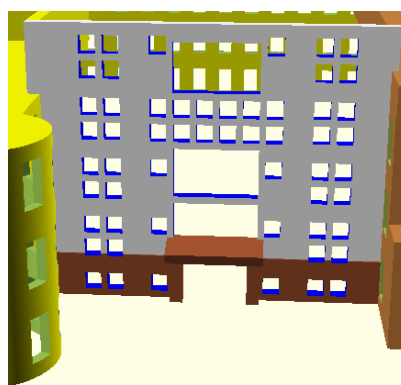
```

        translate([x*35, 0, z*8.7]) wind_library();      }
    translate([4.5, 311, 23.5]) for (x=[0:2]) {
        translate([x*7, 0, 0]) wind_library();          }
    translate([4.5, 311, 1]) for (x=[0:1],z=[0:4]) {
        translate([x*17.5, 0, z*8.7]) cube(2.5);        }
    translate([8, 311, -0.5]) for (z=[0:2]) {
        translate([0, 0, z*8]) cube([13,3,7]);          }
    translate([8, 311, 30.5]) cube([13,3,7]);          } }
color("sienna") { translate([7.5, 313, 0]) cube([2,2,7]);
translate([19.5, 313, 0]) cube([2,2,7]);
translate([7, 312, 8]) rotate([-15,0,0]) cube([15,5,1.5]);}

```



a



b

Рисунок 9 - Моделювання деталей на фасаді корпусу магістратури:

a - закруглення на фасаді корпусу магістратури, b – бібліотека

Дах

Дах має вигляд багатокутника. В дану фігуру входять неправильні форми як з увігнутими, так і з опуклими краями, крім того, можна розмістити отвори всередині цієї форми (команда `polygon`). Результат наведено на рис. 10 (a).

```

    translate([0, 0, 39]) linear_extrude(height = 1.5) {
        polygon(points=[[-
48,183],[52,183],[52,198],[77,198],[77,272], [43,272],
[43,313],    [-12,313],[-12,234],
[48,234],[23,311.2],[6,311.2],[6,240],[23,240]],
        paths=[[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9],[10,11,12,13]]);}

```

Двосхилий дах бібліотеки побудовано за допомогою циклу (команда `for`), при цьому попередньо застосовано операції трансформації для досягнення потрібного положення об'єкта (команди `translate`, `rotate`).

```

    color("white") for (y=[0:10]) {translate([0,y*7.15, 0]) {
        translate([13.7,240, 49]) rotate([0,45,0]) cube([15,
1.5,1.5]);

```

```
translate([14.5,240, 50.33]) rotate([0,135,0])
cube([15,1.5,1.5]);
translate([8.5,240, 44]) rotate([0,45,0]) cube([7,
1.5,1.5]);} }
color("white") translate([13.4,240, 39.5]) rotate([0,45,0])
cube([1.5, 73,1.5]);
```

Результат наведено на рис. 10 (b).

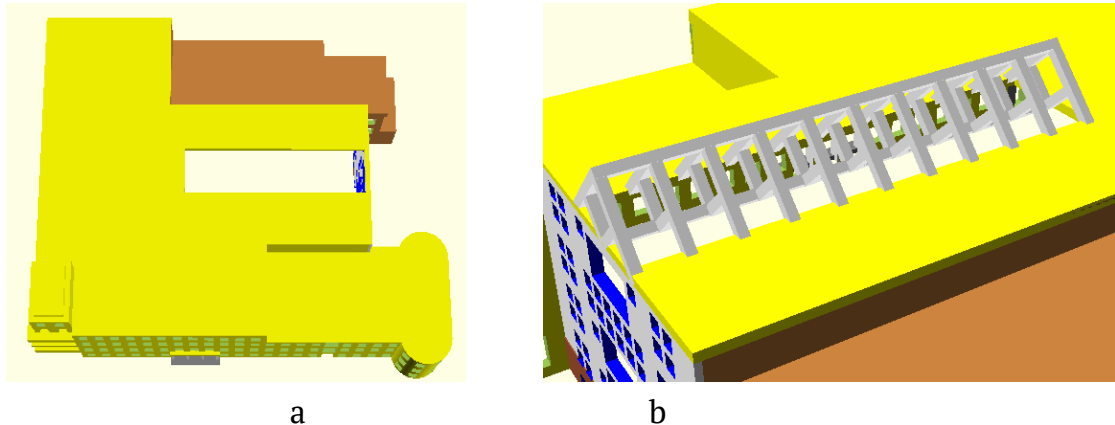


Рисунок 10 -Дахи: а – дах корпусу магістратури , b – дах бібліотеки

Головний корпус наведено на рис. 11.

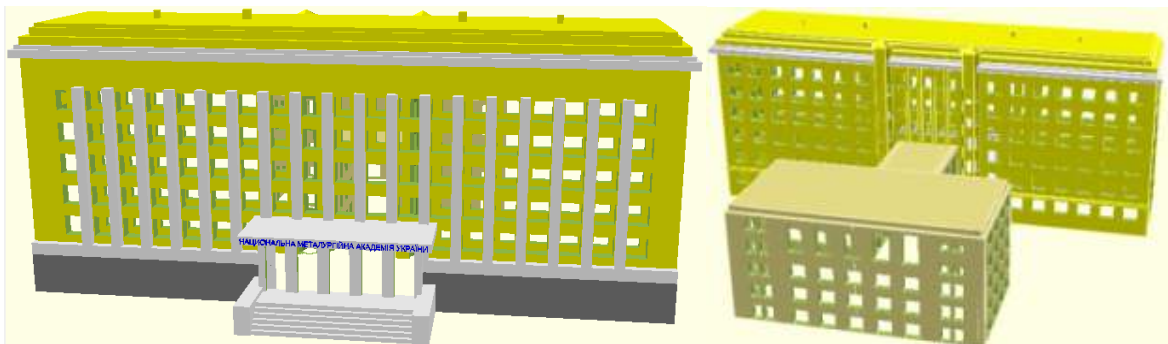


Рисунок 11 -Фасад, торцеві і тиллові частини головного корпусу

Корпус приймальної комісії наведено на рис. 12.

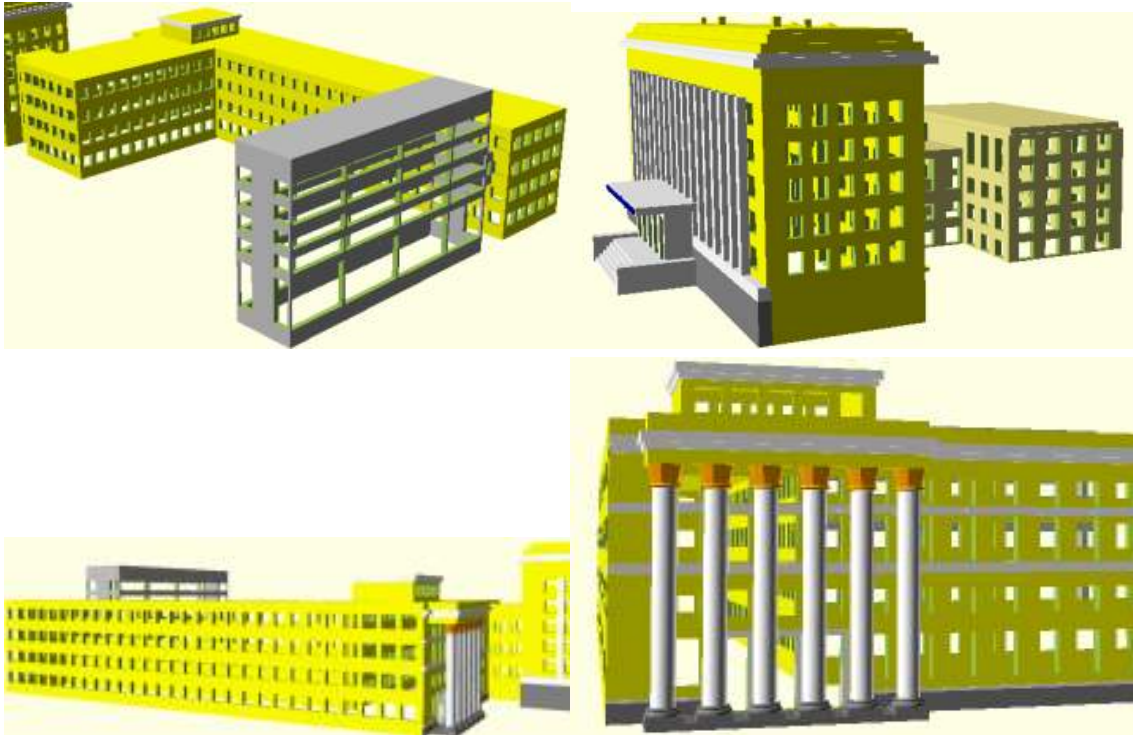


Рисунок 12 - Фасад і торцеві частини корпусу приймальної комісії та корпус А
Корпус магістратури наведено на рис. 13.

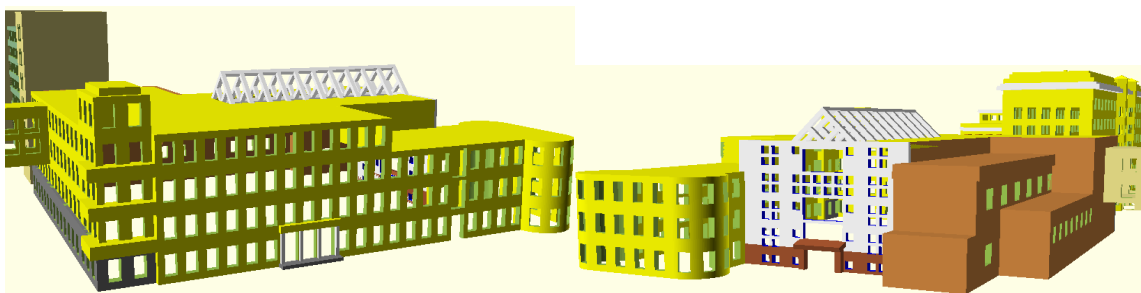


Рисунок 13 - Фасад і торцеві частини корпусу магістратури

Корпус Б наведено на рис. 14.

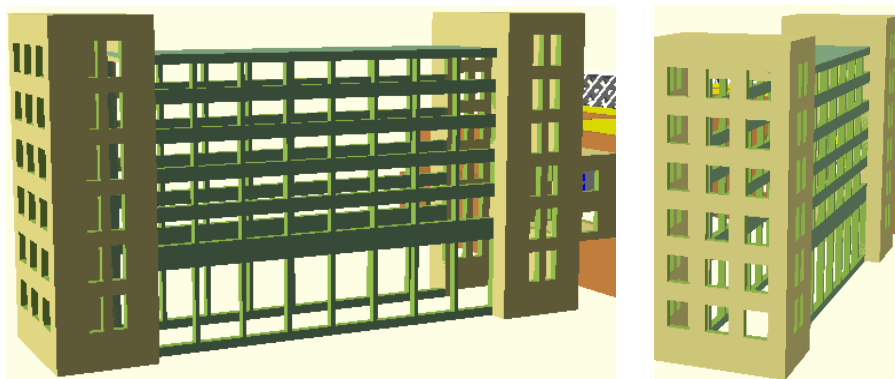


Рисунок 14 - Корпус Б

На рис. 15 наведено модель комплексу навчального закладу УДУНТ.

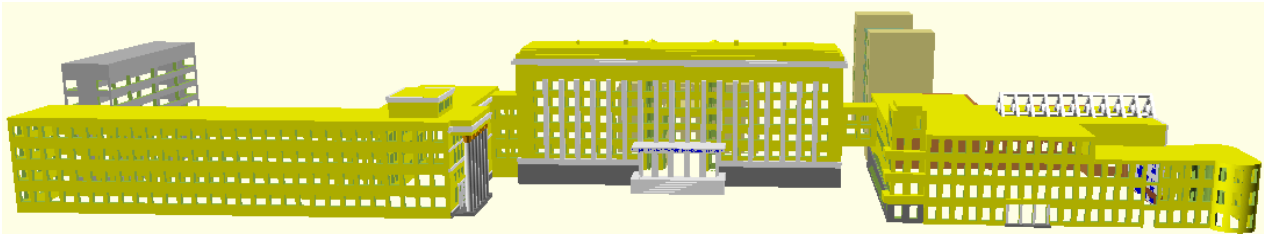


Рисунок 15 - Комплекс будівель УДУНТ

В підсумку проведено рендеринг для подальшого збереження результату в STL форматі [3].

Надрукований макет УДУНТ наведено на рис. 16.



Рисунок 16 - Надрукований макет

Висновки. Результат виконання роботи на тему «Розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу в системі OpenSCAD» полягає у розробці параметричної моделі будівлі УДУНТ за допомогою системи OpenSCAD.

При виконанні практичної частини було проведено 3D-моделювання будівлі УДУНТ, яке включає в себе наступні етапи:

- побудова геометричної 3д-моделі об'єкта;
- рендеринг;
- по закінченню моделювання - виведення роботи на 3D-принтер і отримання макету будівель УДУНТ.

Цей макет може бути використаний у якості експоната на виставках, у музеях, презентаціях задля наочності; для підвищення ефективності отримання інформації, планування та проектування будівельних робіт і реконструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Веселовська, Г.В. Основи комп'ютерної графіки: Навч. посібник / Г.В.Веселовська, В.М. Веселовський, В.Є. Ходаков. – К.: Київ, 2004. – 390с.
2. Моргунов Ю.А. Цифровое сердце 3D-индустрии / Ю.А.Моргунов, Б.П.Саушкин // Аддитивные технологии. – 2016. – № 1. – С. 6-15.

3. Башкатов, А.М. Моделирование в OpenSCAD: на примерах: Уч. пособие / А.М. Башкатов. – Москва: Издательство «Инфа-М», 2020. – 333 с.
4. Землянов, Г. С. 3D-моделирование / Г. С. Землянов, В. В. Ермолаева // Молодой ученый. – 2015. – № 11 (91). – С. 163-189.
5. Копосов, Д. Г. 3D-моделирование и прототипирование: Уч. пособие / Д.Г. Копосов. – Москва: Издательство «Бином.Лаборатория знаний», 2016. – 241 с.

REFERENCES

1. Veselovskaya, G.V. Fundamentals of computer graphics: Textbook. manual / G.V. Veselovskaya, V.M. Veselovsky, V.Y. Khodakov. - Kyiv: Kyiv, 2004. – 390p.
2. Morgunov, Y. A. The digital heart of the 3D industry / Y.A. Morgunov, B.P. Saushkin // Additive technologies. – 2016. – № 1. – P. 6-15.
3. Bashkatov, A.M. Modeling in OpenSCAD: on examples: Ed. allowance / A.M. Bashkatov. - Moscow: Infa-M Publishing House, 2020. – 333 p.
4. Zemlyanov, G.S. 3D-modeling / G.S. Zemlyanov, V.V. Ermolaeva // Young Scientist. - 2015. - № 11 (91). - P. 163-189.
5. Koposov, D.G. 3D modeling and prototyping: Ed. manual / D.G. Koposov. - Moscow: Binom Publishing House. Laboratory of Knowledge, 2016. – 241 p.

Received 30.03.2022.

Accepted 02.04.2022.

Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system

Not so long ago, the production of master models and prototyping was a complex and difficult process, prototypes were made by hand on the basis of complex developments and drawings. Now, with the advent of 3D technology, these processes have become much simpler and much more efficient.

3D modeling plays an important role in the life of modern society. 3D graphics are widely used in marketing, architecture, design and many other areas.

3D modeling is a limitless possibility. Three-dimensional models, animation, visualization - a generalized, but far from complete list of possibilities. 3D modeling allows you to create a prototype of a future building, a commercial product in three-dimensional format, printed on a 3D printer. The use of three-dimensional models of real objects is an unusual and interesting means of transmitting information, which can significantly increase the effectiveness of the presentation.

OpenSCAD software was selected to perform the work. This open 3D modeling program allows the designer to model quite complex and accurate 3D models and parametric structures that can be easily adjusted by changing the parameters, the simulation itself is based on a program written in OpenSCAD.

Therefore, the topic of the work "Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system" is relevant. The purpose of this work is to develop a parametric model of the building of the Ukrainian State University of Science and Technology using the OpenSCAD system.

Узлова Марія Юріївна – студентка групи КН01-17М, Український державний університет науки та технологій.

Журба Анна Олексіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки та технологій.

Журавлев Володимир Миколайович - д.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка».

Ларіонов Григорій Іванович - Старший науковий співробітник, Доктор технічних наук, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Відділ фізико-механічних основ гірничого транспорту, Старший науковий співробітник.

Uzlova Maria Yuriyivna - student of KN01-17M group, Ukrainian state university of science and technology.

Zhurba Anna - candidate of technical science, assistant professor, assistant professor Department of information technology and systems, Ukrainian state university of science and technology.

Zhuravlev Volodymyr Mykolayovych - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Zaporizhzhya Polytechnic National University.

Larionov Hryhoriy Ivanovich - Senior researcher, Doctor of Technical Sciences, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakova of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Physical and Mechanical Foundations of Mining Transport, Senior Research Fellow.

В.Ю. Царик, Вікт.В. Гнатушенко

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИДІЛЕННЯ ГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВЕБСАЙТАХ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ІНТЕРФЕЙСУ

Анотація. У роботі розглянуто питання автоматизації тестування інтерфейсу користувача на прикладі вебсторінок як графічних зображень. Виділено основні характеристики, на які слід звертати увагу під час тестування графічного інтерфейсу користувача: форма, розмір, яскравість, колір, направлення та розташування елементів зображення. Для оцінки якості в роботі визначено ключові блоки вебсторінки – поля меню, текстові та графічні блоки з вихідного зображення, тобто задача зводиться до задачі сегментації зображення. Розглянуто основний підхід до сегментації – методи порогової бінарізації та більш сучасний метод JSEG, який включає два етапи (квантування кольорів та просторову сегментацію за текстурною ознакою). Наведено результати практичного аналізу зображення вебсторінки: аналіз яскравості зображення – з використанням гістограми яскравості, аналіз кількості використаних кольорів – з застосуванням переходу до індексованого зображення та дослідження статистики використання кожного кольору з заданої палітри, проведено виділення об'єктів методами порогової бінарізації та JSEG. За результатами проведених досліджень зроблено висновок, що методи порогової бінарізації не надають бажаних результатів сегментації – наявні проблеми з злиттям графічних об'єктів, що знаходяться поруч та виокремленням символів в текстових блоках. Алгоритм JSEG включає операції кольорового квантування і просторової сегментації, за рахунок чого результат виділення об'єктів краще, проте все одно вимагає подальших налаштувань.

Ключові слова: тестування інтерфейсу, юзабіліті-тестування, сегментація зображень, обробка зображень, порогова бінарізація, JSEG.

Постановка проблеми. XXI століття – час бурхливого розвитку інтернет-технологій. Відкривається величезна кількість інтернет-магазинів, а соціальні мережі стали ключовим засобом реклами різноманітних підприємств із надання послуг та закладів. З'явилася навіть така професія як SMM-фахівець, представники якої займаються просуванням цільової компанії серед інтернет-простору, залученням нових клієнтів для цієї компанії. В умовах великої конкуренції ключовим завданням керівництва підприємства є залучення нових

користувачів на свій вебсайт, для чого необхідно створити такий контент, щоб зацікавити людину, що знову прийшла. Якщо веб-сайт буде перенасичений зайвою інформацією або складний у користуванні – користувач одразу покине його та перейде до іншої компанії. Тому дуже важливо спроектувати якісний дизайн вебсторінки.

Актуальною проблемою є тестування спроектованого дизайну – наскільки вдало представляється необхідна інформація для користувача. Виділяється окрема галузь тестування, як тестування UI (інтерфейсу користувача)[1]. Автоматизація цього виду тестування є нетривіальним завданням, оскільки основним показником є суб'єктивне сприйняття побаченої картинки. У більшості випадків для проведення тестування інтерфейсу збираються фокус-групи, які оцінюють побачений інтерфейс, що тягне за собою фінансові та часові витрати на тестування. В цій роботі розглядаються шляхи до автоматизації аналізу інтерфейсу веб-сторінок з погляду зорового сприйняття її людиною. Так як макет вебсторінок готують у графічних редакторах, він є кольоровим зображенням, тому робота зводиться до аналізу та обробки зображень.

Мета дослідження. Метою роботи є підвищення якості автоматизованого тестування графічного інтерфейсу користувача на основі використання методів аналізу кольорових цифрових зображень та виявлення графічних об'єктів.

Методи виділення об'єктів на цифрових зображеннях. Алгоритми сегментації зображень ґрунтуються на одній із двох базових властивостей сигналу яскравості: розривності та однорідності. У першому випадку підхід полягає у розбитті зображення на підставі різких змін сигналу, таких як перепади яскравості зображення. Друга категорія методів використовує розбиття зображення області, однорідні у сенсі заздалегідь вибраних критеріїв. Прикладами таких методів можуть бути порогова обробка, нарощування областей, злиття і розбиття областей.

Один із основних та простих способів – це побудова сегментації за допомогою порога [2]. Поріг – це ознака (властивість), що допомагає розділити шуканий сигнал на класи. Операція порогового поділу полягає у зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення із заданим значенням порога.

Операція порогового поділу, що у результаті дає бінарне зображення, називається бінаризацією. Метою операції бінаризації є радикальне зменшення кількості інформації, що міститься на зображенні. У процесі бінаризації вихідне напівтонове зображення, має кілька рівнів яскравості, перетворюється на

чорно-біле зображення, пікселі якого мають лише два значення – 0 і 1. Порогова обробка зображення може проводитись різними способами.

Бінаризація з нижнім порогом є найпростішою операцією, в якій використовується лише одне значення порога:

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, f(m,n) \geq t; \\ 1, f(m,n) < t. \end{cases} \quad (1)$$

Усі значення замість критерію стають 1, у разі 255 (білий) і значення (амплітуди) пікселів, які більше порога $t - 0$ (чорний).

Іноді можна використовувати варіант першого методу, що дає негатив зображення, отриманого у процесі бінаризації. Операція бінаризації з верхнім порогом:

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, f(m,n) \leq t; \\ 1, f(m,n) > t. \end{cases} \quad (2)$$

Для виділення областей, у яких значення яскравості пікселів може змінюватись у відомому діапазоні, вводиться бінаризація з подвійним обмеженням ($t_1 < t_2$):

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, f(m,n) \leq t_1; \\ 1, t_1 < f(m,n) \leq t_2; \\ 0, f(m,n) > t_2. \end{cases} \quad (3)$$

Також можливі інші варіації з порогоми, де пропускається лише частина даних (середньо смуговий фільтр).

Більшість існуючих методів сегментації добре працюють на однорідних кольорових областях. Але семантичні об'єкти зазвичай відповідають областям, однорідним як за кольором, а й за текстурою. Однак багато методів текстурної сегментації вимагають оцінки параметрів текстурної моделі, що є складним завданням, яке вирішується в чітко виділеній однорідній області для отримання сталої оцінки.

Завдання з розбиття зображення на однорідні області можна звести до оптимізації. Для цього задачу сегментації формують як задачу пошуку розбиття зображення, що володіє певними властивостями, і потім вводиться функціонал, який відображає ступінь відповідності вимогам сегментації [3].

Приклад оптимізаційного методу є алгоритм JSEG [4]. Відповідно до цього методу замість оцінки параметрів моделі текстури перевіряється однорідність кожного фрагмента зображення, що призводить до скорочення обсягу обчислень. Метод JSEG включає 2 етапи: квантування кольорів та просторову сегментацію за текстурною ознакою. На першому етапі кольори на зображенні кван-

туються на кілька представницьких класів, які можуть бути використані для диференціації областей зображення. Це квантування відбувається у колірному просторі без урахування просторового розташування кольорів (див. рисунок 1). Значення кольорів пікселів зображення змінюються на відповідні маркери класів, тим самим формуючи карту значень кольору зображення. Остання може бути розглянута як текстури.

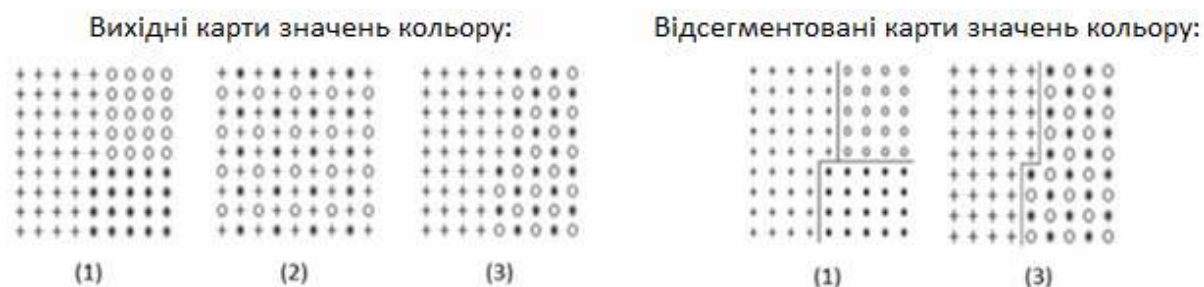


Рисунок 1 – Сегментація карти значень кольору

На другому етапі просторова сегментація застосовується прямо до карти значень кольору, без урахування подібності кольорів відповідних пікселів. Для цього визначено текстурну ознаку сегментації на основі карти значень кольору зображення. Обчислення цієї ознаки в локальних вікнах на карті значень кольору зображення виконується шляхом визначення навколо кожного пікселя J -величини – нормованої різниці загальної дисперсії координат пікселів околиці та внутрішньокласової дисперсії координат пікселів околиці. Позначимо:

$$S_r = \sum \|z - m\|^2, \quad S_w(z) = \sum_{i=1}^C \sum_{z \in Z} \|z - m\|^2, \quad (4)$$

де S_r – дисперсія точок на зображенні; $S_w(z)$ – сумарна дисперсія координат точок, що належать одному класу. Тут S_r залежить від розміру та форми околиці обробки у точці $z = (x, y)$, але не залежить від самих значень координат точки (x, y) . J -величина:

$$J(z) = \frac{S_r - S_w(z)}{S_w(z)}, \quad (5)$$

що ґрунтується на лінійному дискримінанті Фішера для кількох класів у разі довільного розподілу значень із різних класів.

Чим вище значення J -величини в околиці пікселя зображення, тим більша ймовірність того, що відповідний піксель належить межі однорідної області. Властивості результату J -перетворення дозволяють використовувати методи нарощування областей для визначення центрів групування з подальшим приє-

днанням сусідніх пікселів зображення. Як «центри групування» вибираються пікселі з малими значеннями J -величини. Після нарощування областей проводиться злиття дрібних фрагментів зображення.

Потім вводиться функціонал якості сегментації, що використовує розподіл кольорів на зображенні. Проте оптимізація цього функціоналу безпосередньо – дуже трудомістке завдання. У методі JSEG використовується жадібний алгоритм оптимізації введеного функціоналу якості сегментації. Значення функціоналу якості обчислюється на околиці кожної точки. Великі значення функціоналу якості відповідають межах однорідних областей, малі значення відповідають центрам регіонів. Потім застосовується вирощування регіонів, як зерна використовуються точки з мінімальними значеннями функціоналу. На останньому етапі проводиться злиття дрібних регіонів [5].

Методи оцінки інтерфейсу вебсайтів. Як говорилося вище, юзабіліті тестування інтерфейсу користувача – завдання нетривіальне, тому що складно формалізувати особливості сприйняття вмісту кінцевим користувачем. Незважаючи на це, протягом тривалого часу були проаналізовані аспекти, що впливають на сприйняття користувачем інформації. Сформувалася ціла дисципліна під назвою «візуальний дизайн інтерфейсів». Досвід розробників та дизайнерів привів до висновку, що візуальний дизайн інтерфейсів – дуже потрібна та унікальна дисципліна, яку слід застосовувати у поєднанні з проектуванням взаємодії та промисловим дизайном. Вона здатна серйозно вплинути на ефективність та привабливість продукту. Для того, щоб якісно оцінити інтерфейс користувача, необхідно виділити основні принципи, на які спираються дизайнери під час проектування інтерфейсів. Основні принципи побудови інтерфейсів[6]:

- Форма – основна ознака сутності об'єкта в людини. Ми впізнаємо об'єкти за контурами.
- Розмір – більші елементи привертають більше уваги, якщо вони значно перевершують розмірами оточуючі елементи.
- Яскравість – значення яскравості може бути дисоціативним; скажімо, якщо фотографія занадто темна або занадто світла, неможливо розібрати, що на ній.
- Колір – кольорні відмінності швидко привертають увагу. У деяких професійних сферах кольори мають конкретні значення, і цим можна користуватися.
- Напрямок корисний, коли потрібно передавати інформацію про орієнтацію (вгору або вниз, вперед або назад).

- Розташування – подібно розміру, розташування – це змінна впорядкована, що виражається кількісно, а значить, корисна для передачі ієрархії.

Як бачимо, багато параметрів зводиться до аналізу розмітки вмісту на вебсторінці. Це призводить до завдання про сегментацію зображення – виділення зон, що не перетинаються, з різними об'єктами. У разі аналізу веб-сторінок, такими об'єктами можуть бути зображення, текстові поля, пункти меню та ін.

Для аналізу елементів вебсторінки – їх розмірів, розташування, форми, необхідно виділити дані об'єкти з вихідного зображення. Для цього необхідно вирішити задачу сегментації зображення.

Визначення характеристик яскравості зображення. Одним із критеріїв оцінки вебсторінок є її яскравість. Надто темні або, навпаки, надто яскраві сторінки будуть важко сприйматися користувачем, людині потрібно напружувати зір для перегляду такого вмісту. Для оцінки параметрів яскравості можна використовувати оцінку гістограми зображення, яка відображає величину яскравості. Однак оскільки ми працюємо з кольоровими зображеннями, необхідно спочатку привести вихідне зображення у відтінки сірого і потім вже будувати гістограму. На рисунку 2 показаний приклад однієї й тієї ж сторінки, але зі зміненою яскравістю. При радикальному збільшенні або зменшенні яскравості різко знижується якість сприйняття вмісту. Оптимальний вид гістограми яскравості – нормальний розподіл.

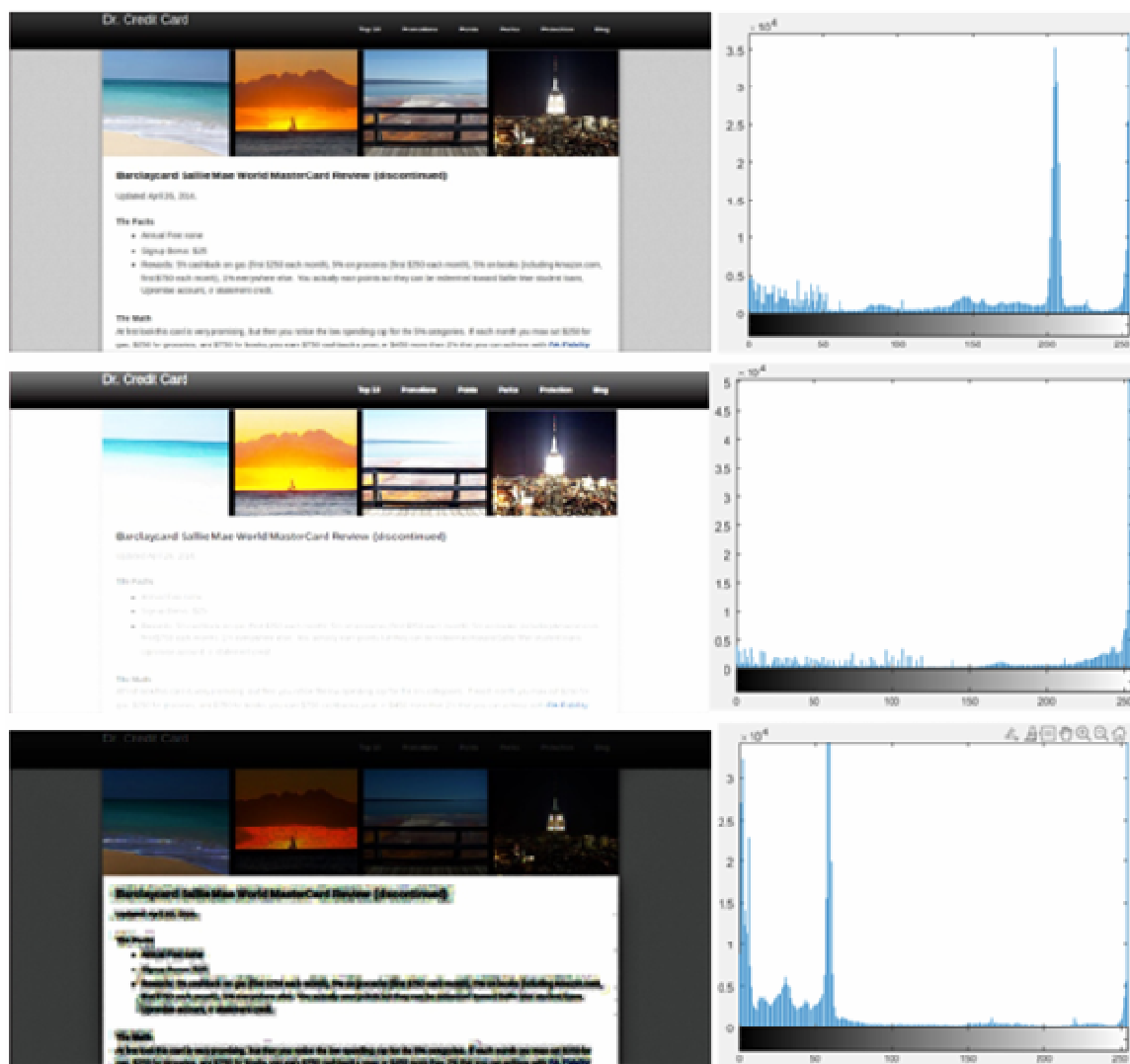


Рисунок 2 – Аналіз гістограми яскравості

Визначення кількості основних кольорів на зображенні. Сторінки, на яких є велика кількість різних кольорів та їх відтінків, відштовхують користувачів. Дизайнери радять використовувати максимум 3 основних кольори на сторінці. Аналіз зображення у вихідному вигляді, де можуть зустрічатися безліч відтінків одного кольору, не дасть наочних результатів, тому приводимо його до індексованого зображення. Кожен елемент такого зображення має як колір якийсь умовний індекс, який розшифровується по таблиці кольорів (палітрі) в реальні компоненти кольору, що дозволяє для кожного такого елемента побудувати «істинний» колір у заданій колірній моделі [7]. Для завдання палітри використовуватимемо 7 основних кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий, додамо до них білий та чорний. Наступний етап – побудова гістограми для індексованого зображення по заданій колірній карті. Приклад такої гістограми для зображення наведено на рисунку 3.

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

На ньому бачимо переважання білого кольору, який є фоном для вихідного зображення.

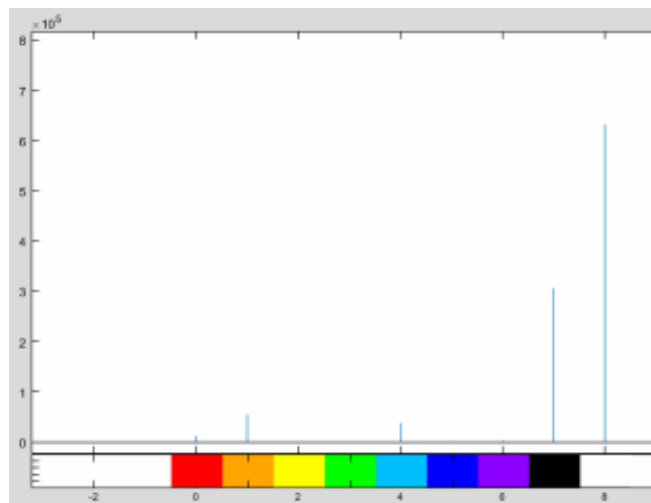


Рисунок 3 – Гістограма кольорів для заданої колірної картки

Наступний аналіз зводиться до розрахунку кількості піків на отриманій гістограмі. В даному випадку їх два – навпроти чорного та білого кольору.

Виділення об'єктів на зображенні. Використовуючи наведені вище алгоритми, спробуємо виділити об'єкти на вихідному зображенні. Наша мета – відокремити блоки з меню, зображення, текстові блоки.

Перший із реалізованих алгоритмів – порогова бінаризація. Результат виділення представлений рисунку 4.

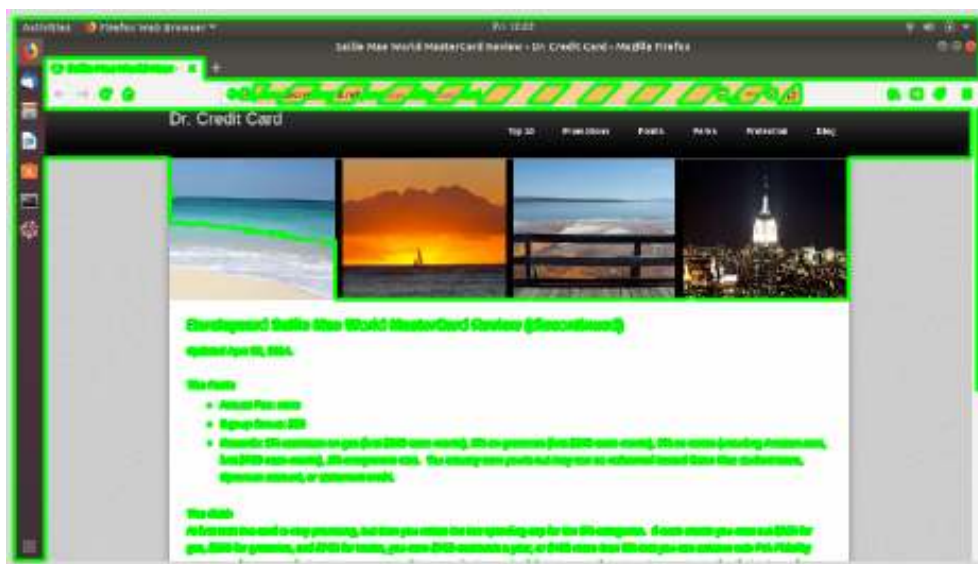


Рисунок 4 – Виділення об'єктів на зображенні методом порогової бінаризації

Аналізуючи отриманий результат бачимо, що кожен текстовий символ розпізнається як окремий елемент, тоді як різні зображення, як і елементи меню, зібрані в один спільний об'єкт. Для вирішення першої проблеми можна використовувати операцію морфологічного відкриття зображення, використовуючи структурний елемент квадрат. Таким чином дрібні елементи об'єднуються у загальний, більший. Результат такого підходу представлений на рисунку 5. Як ми бачимо, текстові елементи об'єдналися в блоки абзаців, що дозволить аналізувати наявність/відсутність вирівнювання та розмірів текстових блоків.



Рисунок 5 – Застосування операції морфологічного відкриття

Однак при використанні такого підходу залишається проблема зливання різних структурних елементів в один блок. Ця проблема виникає вже на етапі бінаризації, що вказує на непридатність класичного підходу до завдання сегментації кольорових зображень.

Застосування алгоритму JSEG дало більш позитивний результат, проте потребує додаткової адаптації до наших завдань. Результат виділення представлений рисунком 6.

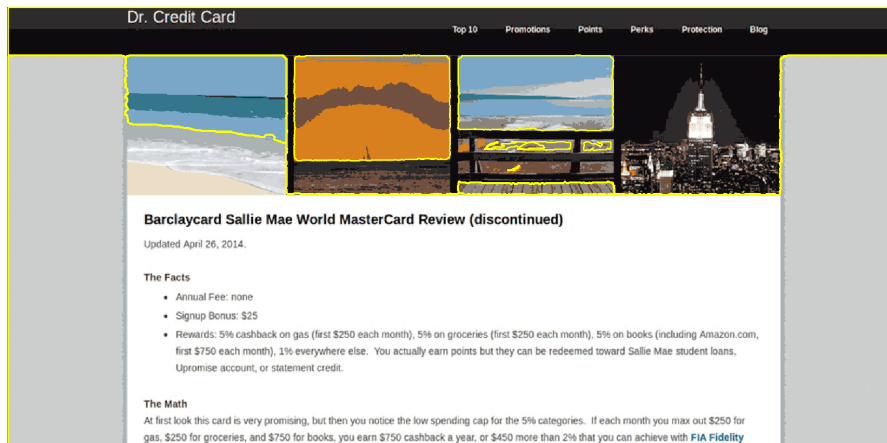


Рисунок 6 - Виділення об'єктів на зображенні методом JSEG

Висновки. У роботі проведено дослідження та порівняльний аналіз методів обробки цифрових зображень задля автоматизації процесу оцінки якості графічного інтерфейсу користувача. Зроблено висновок, що застосування класичного підходу для сегментації зображення не дало бажаного результату для аналізу зображень веб-сторінок, а саме існують проблеми неможливості розділити графічні об'єкти, що знаходяться поруч, при пороговій бінаризації, і об'єднати текстові символи в один блок. Алгоритм JSEG включає операції кольорового квантування і просторової сегментації, за рахунок чого результат виділення об'єктів краще, проте все одно вимагає подальших налаштувань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бакаєв М.А. Сучасні тенденції в автоматизованій оцінці юзабіліті і поведінкові чинники в алгоритмах пошукових систем // Програмні продукти і системи. 2017. Т. 30. № 3. С. 447-455. DOI: 10.15827 / 0236-235X.030.3.447-455.
2. Федоров А. Бинаризация черно-белых изображений: состояние и перспективы развития. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://itclaim.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/ist4b/its4/fyodorov.htm>
3. Порогово-пространственная сегментация цветных текстурированных изображений на основе метода JSEG [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://aaecs.org/polyakova-mv-ishenko-av-hudaiberdin-eiporogovo-prostranstvennaya-segmentaciya-cvetnih-teksturovannih-izobrajenii-na-osnove-metoda-jseg.html>
4. Deng Y., Manjunath B. S., Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video// IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001. Vol. 23, № 8. P. 800–810.

5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. М. : Техносфера, 2005. 1072 с.
6. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. – Пер. с англ. – СПб.: Символ'Плюс, 2009. – 688 с., ил. ISBN 978'5'93286'132'5
7. Нестерук Д.Г., Гнатушенко Вік.В., Царик В.Ю. Технологія юзабіліті тестування на основі цифрового зображення веб-сайту // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2021)» – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2021. – С. 99-100.

REFERENCES

1. Bakaev M.A. Current trends in automated usability assessment and behavioral factors in search engine algorithms // Software products and systems. 2017. Т. 30. № 3. S. 447–455. DOI: 10.15827 / 0236-235X.030.3.447-455.
2. Fedorov A. Binarization of black and white images: state and prospects of development. [Electronic resource]. Access mode: <http://itclaim.ru/Library/Books/ITS/wwwbook/ist4b/its4/fyodorov.htm>
3. Threshold-spatial segmentation of color textured images based on the JSEG method [Electronic resource]. Access mode: <http://aaecs.org/polyakova-mv-ishenko-av-hudaiberdin-eiporogovo-prostranstvennaya-segmentaciya-cvetnih-teksturovannih-izobrajenii-na-osnove-metoda-jseg.html>
4. Deng Y., Manjunath B. S., Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2001. Vol. 23, № 8. P. 800–810.
5. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing / trans. with English M. : Technosphere, 2005. 1072 p.
6. Cooper A., Reiman R., Cronin D. Alan Cooper on the interface. Fundamentals of interaction design. - Translated from English. - StP. : Symbol'Plus, 2009. - 688 p. ISBN 978'5'93286'132'5
7. Nesteruk D.G., Gnatushenko Vik.V., Tsaryk V.Yu. Usability testing technology based on digital image of the website // Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference "Computer Modeling and Optimization of Complex Systems (KMOSS-2021)" - Dnipro: UDKHTU, 2021. - P. 99-100

Received 01.04.2022.

Accepted 02.04.2022.

Research of methods of distribution of graphic objects on websites for assessment of interface quality

Formulation of the problem. An actual problem when creating web resources is the testing of the designed design, which is the direction of testing the user interface. This paper considers

ways to automate the analysis of the interface of web pages in terms of visual perception of man.

The aim of the work. The aim of the work is to improve the quality of automated testing of the graphical user interface based on the use of methods of analysis of color digital images and detection of graphic objects.

Methods of selecting objects on digital images. The traditional method of segmentation is described – threshold binarization, which results in a binary image. The JSEG algorithm is more advanced. According to this method, instead of estimating the parameters of the texture model, the homogeneity of each image fragment is checked, which leads to a reduction in the amount of computation.

Website interface evaluation methods. In order to qualitatively evaluate the user interface, it is necessary to identify the basic principles on which designers rely when designing interfaces. Basic principles of interface construction: shape, size, brightness, color, direction, location.

Determining the brightness characteristics of the image. To estimate the brightness parameters, you can use the estimation of the image histogram, which displays the brightness value. The optimal type of brightness histogram is the normal distribution.

Determining the number of primary colors in the image. Performed by constructing a histogram for an indexed image on a given color map. It is optimal to use no more than 3 primary colors.

Selection objects in the image. The methods of image segmentation described above are implemented and the imperfection of these methods is shown. The application of the JSEG algorithm gave a more positive result, but requires additional adaptation to our tasks.

Conclusions. The study and comparative analysis of digital image processing methods to automate the process of assessing the quality of the graphical user interface. It is concluded that the application of the classical approach to image segmentation did not give the desired result for image analysis of web pages, namely there are problems of inability to separate adjacent graphics at the threshold binarization, and combine text characters into one block. The JSEG algorithm includes color quantization and spatial segmentation operations, due to which the result of object selection is better, but still requires further settings.

Царик Владислав Юрійович – аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Tsaryk Vladyslav – Postgraduate Student, Assistant Professor, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technologies.

Hnatushenko Viktoriia – Doctor of engineering's sciences, Professor, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technologies.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЙ ГАУСА
ІНДИВІДУАЛЬНИХ СМУГ СПЕКТРА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ
МЕТОДОМ РОЗКЛАДЕННЯ ЗА ВЛАСНИМИ ФОРМАМИ**

Анотація. Розглянуто розкладання на власні форми спектру фотолюмінесценції на 5 смуг, що описуються функціями Гауса. Спрощення нелінійних рівнянь 5 порядку визначає 2 найбільші смуги. Параметри 3 інших смуг визначаються з чисельного розв'язку рівнянь 3 порядку.

Ключові слова: індивідуальні смуги спектру, кристалічні люмінофори, функція Гауса, розкладення за власними формами.

Постановка проблеми та мета дослідження. Завдання розкладення спектру фотолюмінесценції (ФЛ) кристалічних люмінофорів на індивідуальні смуги з відомими довжинами хвиль максимумів є нетривіальним, якщо складові – функції Гауса, на краях інтервалу довжин хвиль спектру ФЛ смуги накладаються, їх кількість велика.

Для спрощення викладок зазвичай припускають дисперсію всіх смуг однаковою. Обрав притаманний математичний апарат для цього завдання – розкладення за власними формами, врахуємо, що вони відрізняються між собою не лише амплітудами, довжинами хвиль максимумів, а й дисперсіями.

Викладення основного матеріалу дослідження. Нехай інтегральний спектр інтенсивності ФЛ, експериментально знятий по точках та згладжений, апроксимується неперервною функцією $f(x)$, де x – довжина хвилі спектру ФЛ. Для кристалічного люмінофора ZnS:Mn з літературних джерел відомі довжини хвиль максимумів x_i , де $i = 1, 2, \dots, 5$ для п'яти індивідуальних смуг [1]. Будемо їх нумерувати у порядку зменшення значень максимумів – амплітуд функцій Гауса $A_i \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i]$, де A_i – амплітуда, σ_i – дисперсія.

$$\sum_{i=1}^5 A_i \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i] = f(x) \quad (1)$$

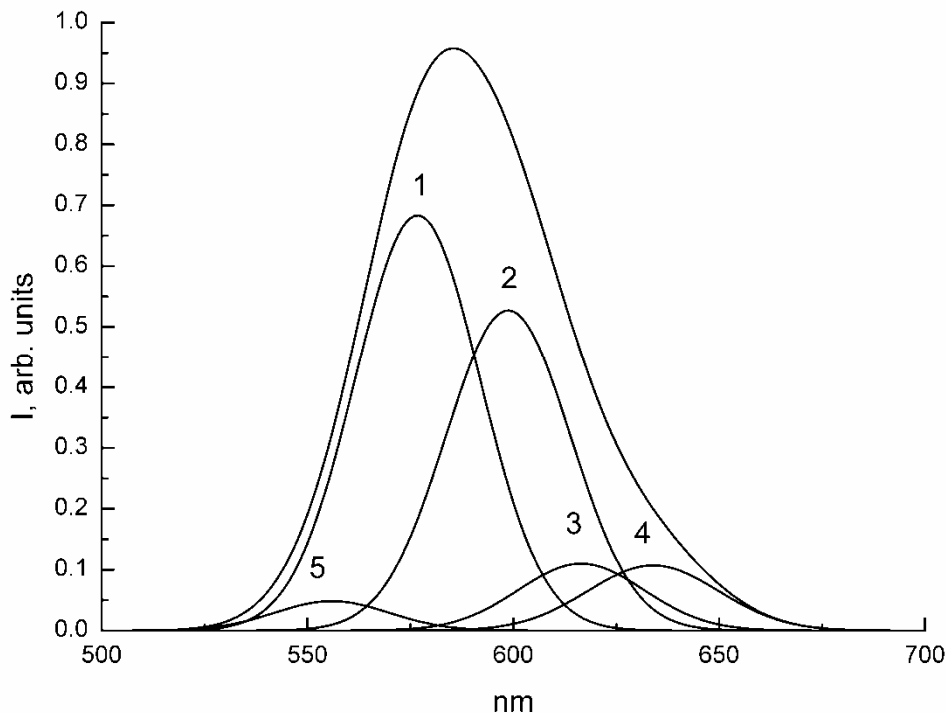


Рисунок 1 - Спектр ФЛ об'ємного кристалу ZnS:Mn

Під методом розкладення за власними формами будемо розуміти прийом множення рівняння (1) по черзі на кожну індивідуальну форму ліворуч і праворуч від знаку рівності та подальшого інтегрування рівняння в нескінченних межах. Цим використовуємо властивості симетрії індивідуальних смуг, тобто парність функції $\exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i]$. У необмежених границях інтегрування перенесення довжини хвилі максимуму функції, що описує смугу, від початку координат до точки x_i не впливає на результат інтегрування, що можна перевірити заміною змінної під знаком інтеграла

$$y = x - x_i, \text{ де } i = 1, 2..5 \quad (2)$$

Після множення на функцію Гауса, що представляє форму смуги, та інтегрування рівняння (1) отримуємо систему рівнянь, кількість яких визначається кількістю смуг.

$$\sum_{i=1}^5 A_i \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-(x-x_i)^2 / \sigma_i] \exp[-(x-x_j)^2 / \sigma_j] dx = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-(x-x_j)^2 / \sigma_j] dx \quad (3)$$

де $j = 1, 2..5$.

Здійснення інтегрування в лівій частині формули (3) приведе систему до наступного виду:

$$B_j / \sqrt{2} + \sum_{i=1, i \neq j}^5 B_i \exp[-(x_i - x_j)^2 / (\sigma_i + \sigma_j)] / \sqrt{\sigma_j / (\sigma_i + \sigma_j)} =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx / \sqrt{\pi}, \quad (4)$$

$$\text{де } B_k = A_k \sqrt{\sigma_k}, k = 1, 2..5 \quad (5)$$

При виведенні формули (4) і далі при інтегруванні, що слід провести у правій частині, використані формули (6), (7) та (9), отримані П. Л. Чебишевим і опубліковані академіком О. М. Криловим в [2] на сторінках 12 і 13.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp[-2/(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = \sqrt{\pi \sigma_j / 2} \quad (6)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp[-(x - x_i)^2 / \sigma_i - (x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = \sqrt{\pi \sigma_i \sigma_j} \exp[-(x_i - x_j)^2 / (\sigma_i + \sigma_j)] / \sqrt{\sigma_i + \sigma_j} \quad (7)$$

Для знаходження інтеграла в правій частині (4) апроксимуємо згладжену функцію $f(x)$, побудовану за експериментальними даними, відрізком степеневого ряду, наприклад, до восьмого доданку включно.

$$f(x) = \sum_{m=0}^8 C_m x^m, \quad (8)$$

де C_m – коефіцієнти m - го доданку.

Зауважимо, що поза інтервалом визначення функції $f(x)$ значення виразу (8) не обов'язково має бути зникаюче малим, тому що обчислюється його проєкція на функцію Гауса, яка поза цим інтервалом швидше збігається з нулем, ніж може збільшитися абсолютне значення степеневі функції.

Тут ми обмежилися, наприклад, восьмим степенем, але це може бути і більший степінь, тому що диференціюючи інтеграл (6) за параметром $1 / \sigma_j$ можна отримати значення інтегралів у формулах (9) для будь-якого степеня.

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_j)^2 \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = \sqrt{\pi \sigma_j^3 / 2}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_j)^4 \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = 3 \sqrt{\pi \sigma_j^5 / 4}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_j)^6 \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = 15 \sqrt{\pi \sigma_j^7 / 8} \quad (9)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_j)^8 \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = 105 \sqrt{\pi \sigma_j^9 / 16}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x - x_j)^{2k-1} \exp[-(x - x_j)^2 / \sigma_j] dx = 0, \text{ для } k = 1, 2..4$$

Для того, щоб провести інтегрування правої частини формули (4), використаємо формулу (2) для заміни змінної у формулі (8) і позбираємо отримані члени з однаковим степенем:

$$f(y) = \sum_{m=0}^8 D_m y^m, \quad (10)$$

де $D_0 = C_0 + C_1 x_j + C_2 x_j^2 + C_3 x_j^3 + C_4 x_j^4 + C_5 x_j^5 + C_6 x_j^6 + C_7 x_j^7 + C_8 x_j^8$,

$$D_1 = C_1 + 2C_2 x_j + 3C_3 x_j^2 + 4C_4 x_j^3 + 5C_5 x_j^4 + 6C_6 x_j^5 + 7C_7 x_j^6 + 8C_8 x_j^7,$$

$$D_2 = C_2 + 3C_3 x_j + 6C_4 x_j^2 + 10C_5 x_j^3 + 15C_6 x_j^4 + 21C_7 x_j^5 + 28C_8 x_j^6,$$

$$D_3 = C_3 + 4C_4 x_j + 10C_5 x_j^2 + 20C_6 x_j^3 + 35C_7 x_j^4 + 56C_8 x_j^5, \quad D_8 = C_8,$$

$$D_4 = C_4 + 5C_5 x_j + 15C_6 x_j^2 + 35C_7 x_j^3 + 70C_8 x_j^4, \quad D_7 = C_7 + 8C_8 x_j,$$

$$D_5 = C_5 + 6C_6 x_j + 21C_7 x_j^2 + 56C_8 x_j^3, \quad D_6 = C_6 + 7C_7 x_j + 28C_8 x_j^2.$$

Використовуючи нові коефіцієнти розкладення (10) та інтеграли (9), обчислюються праві частини рівнянь (4). Для рішення системи (4) зробимо спрощення, що дозволяють розв'язати систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Спочатку розглянемо перші два рівняння, отримані проектуванням рівняння (1) на форми з максимальними амплітудами A_1 та A_2 . У лівих частинах цих рівнянь залишаємо лише члени з невідомими B_1 та B_2 . Вирішуючи СЛАР другого порядку, отримуємо вирази B_1 і B_2 через σ_1 і σ_2 , якщо $i = 1$, то $j = 2$ та навпаки.

$$B_i = n_{ij} / d_{ij}, \quad (11)$$

де $n_{ij} = \varphi(x_i, \sigma_i) / \sqrt{2} - \sqrt{\sigma_i} \varphi(x_j, \sigma_j) \exp[-(x_i - x_j)^2 / (\sigma_i + \sigma_j)] / \sqrt{\sigma_i + \sigma_j}$,

$$d_{ij} = 1 / 2 - \sqrt{\sigma_i \sigma_j} \exp[-2(x_i - x_j)^2 / (\sigma_i + \sigma_j)] / (\sigma_i + \sigma_j), \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \varphi(x_k, \sigma_k) = & C_0 - C_1 x_k + C_2 x_k^2 - C_3 x_k^3 + C_4 x_k^4 - C_5 x_k^5 + C_6 x_k^6 - C_7 x_k^7 + C_8 x_k^8 + \\ & + \sigma_k (C_2 - 3C_3 x_k + 6C_4 x_k^2 - 10C_5 x_k^3 + 15C_6 x_k^4 - 21C_7 x_k^5 + 28C_8 x_k^6) / 2 + \\ & + 3\sigma_k^2 (C_4 - 5C_5 x_k + 15C_6 x_k^2 - 35C_7 x_k^3 + 70C_8 x_k^4) / 4 + \\ & + 15\sigma_k^3 (C_6 - 7C_7 x_k + 28C_8 x_k^2) / 8 + 10\sigma_k^4 C_8 / 16 \end{aligned} \quad (13)$$

Потім підставимо ці вирази в третє і четверте рівняння (4), сенс яких полягає в проектуванні (1) на форми із середніми значеннями амплітуд A_3 і A_4 , де доданок з невідомим B_5 був відкинутий через незначність амплітуди A_5 . Рішення СЛАР для B_3 і B_4 містить невідомі поки що σ_i , де $i = 1, 2, 4$. Викорис-

товуючи лінійність задачі для невідомих B_i , шукатимемо рішення у вигляді суми двох доданків

$$B_3 = B_{31} + B_{32}, \quad B_4 = B_{41} + B_{42}, \quad (14)$$

де формули (11) і (13) вірні для перших доданків B_{31} і B_{41} із заміною індексів i та j іншими значеннями: $i = 3, j = 4$ або $i = 4, j = 3$. B_{31} і B_{41} залежатимуть від σ_3 та σ_4 . Для других доданків рішення (14) третього та четвертого рівнянь системи (4) у правих частинах рівнянь залишаються члени, які переносяться з лівого боку. Вони містять B_1 і B_2 , вже виражені через σ_1 і σ_2 .

$$B_{i2} = \sqrt{\sigma_i} \sum_{k=1}^2 B_k \Psi_{ijk} / d_{ij}, \quad (15)$$

де $\Psi_{ijk} = \sqrt{\sigma_i} \exp[-(x_i - x_j)^2 / (\sigma_i + \sigma_j)] (x_j - x_k)^2 / (\sigma_j + \sigma_k) / \sqrt{(\sigma_i + \sigma_j)(\sigma_j + \sigma_k)} - \exp[-(x_i - x_k)^2 / (\sigma_i + \sigma_k)] / \sqrt{2(\sigma_i + \sigma_k)}$,

d_{ij} обчислюється за формулою (12), а індекси набувають значень: $i = 3, j = 4$ або $i = 4, j = 3$.

Отримане проектуванням формули (1) на п'яту форму останнє рівняння системи (4) залишиться без спрощень. Воно містить усі B_i , де $i = 1, 2, 4$, виражені раніше через дисперсії $\sigma_1 \dots \sigma_4$. Невідоме B_5 шукатимемо як суму трьох доданків.

$$B_5 = B_{51} + B_{52} + B_{53} \quad (16)$$

Усі доданки з вже визначеними виразами B_i , де $i = 1, 2, 4$, переносяться у праву частину останнього рівняння системи (4), зліва залишиться тільки доданок, що містить B_5 . Рішення B_{51} містить лише дисперсію σ_5 .

$$B_{51} = \sqrt{2} \varphi(x_5, \sigma_5), \quad (17)$$

де для $\varphi(x_5, \sigma_5)$ справедлива формула (13) при $k = 5$. Рішення B_{52} містить ще σ_1 і σ_2 , так як воно виражається через B_1 і B_2 .

$$B_{52} = -\sqrt{2\sigma_5} \sum_{k=1}^2 B_k \exp[-(x_5 - x_k)^2 / (\sigma_5 + \sigma_k)] / \sqrt{(\sigma_5 + \sigma_k)} \quad (18)$$

Рішення B_{53} містить усі дисперсії σ_i , де $i = 1, 2, 5$, оскільки права частина для третього доданку в (16) складається з членів, що містять B_3 і B_4 . Формула (18) для B_{52} залишається справедливою і для B_{53} , якщо індекс k змінюється від 3 до 4.

Для отримання дисперсій σ_i , де $i = 1, 2, \dots, 5$ розглянемо іншу систему рівнянь, отриманих на основі рівняння (1). Для цього проінтегруємо його в нескінченних межах із вагами x , x^2 , x^3 , x^4 .

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^5 B_i &= \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx / \sqrt{\pi} \\ \sum_{i=1}^5 x_i B_i &= \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx / \sqrt{\pi} \\ \sum_{i=1}^5 (\sigma_i / 2 + x_i^2) B_i &= \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx / \sqrt{\pi} \\ \sum_{i=1}^5 (3x_i \sigma_i / 2 + x_i^3) B_i &= \int_{-\infty}^{\infty} x^3 f(x) dx / \sqrt{\pi} \\ \sum_{i=1}^5 (3\sigma_i^2 / 4 + 3x_i^2 \sigma_i / 2 + x_i^4) B_i &= \int_{-\infty}^{\infty} x^4 f(x) dx / \sqrt{\pi}\end{aligned}\quad (19)$$

Оскільки ми проектуємо не на функцію Гауса, що зникає на нескінченності, а на зростаючі степеневі функції, то апроксимуємо побудовану за експериментальними даними функцію $f(x)$ на ділянці $x < x_{\max}$, де $x_{\max}$ – довжина хвилі максимуму інтегрального спектра з $f'(x) = 0|_{x=x_{\max}}$ функцією Гауса з амплітудою A , та дисперсією σ_{left} , а на ділянці $x > x_{\max}$ функцією Гауса з другим параметром σ_{right} . Розділимо межі інтегрування інтегралів у правих частинах рівнянь системи (19) на $(-\infty; x_{\max}]$ та $[x_{\max}; +\infty)$. Під інтегралом у правій частині робимо заміну змінної $y = x - x_{\max}$.

У системі (19) спростимо перше рівняння, залишавши лише члени з максимальними амплітудами. У другому рівнянні (19) спрощення пов'язане зі зручним вибором початку відліку за віссю абсцис. Виберемо початок координат x посередині між довжинами хвиль смуг 3 та 4 для кристалічного люмінофора ZnS:Mn так, щоб $|x_5| > |x_1| > |x_2| > |x_3|$. Вибравши таким чином початок координат у другому рівнянні, ми не будемо враховувати доданки, що містять B_3 , B_4 та B_5 .

Тоді перші два рівняння (19) розв'язуються відносно B_1 та B_2 .

$$\begin{aligned}B_1 &= \left[\int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx - x_2 \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \right] / [\pi(x_1 - x_2)] \\ B_2 &= \left[x_1 \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx - \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \right] / [\pi(x_1 - x_2)]\end{aligned}\quad (20)$$

Як видно з формули (5), амплітуди найбільших смуг A_1 і A_2 обернено пропорційні квадратним кореням з відповідних їм дисперсій. Підставляючи вирази (20) у (11), отримуємо нелінійну систему двох трансцендентних рівнянь для дисперсій σ_1 і σ_2 . Її розв'язок чисельний. Зазначимо, що формула (12) містить, поряд з членами низького степеню, також і члени з високими степенями щодо невідомих σ_1 та σ_2 і тому має багато коренів. Членами з високими степенями можна знехтувати, тому що тільки нижній корінь забезпечить достатнє загасання форми в області визначення функції $f(x)$. Для апроксимації нижнього кореня має сенс залишити в степеневому рівнянні лише малі степені.

Після визначення σ_1 і σ_2 повернемося до інших трьох рівнянь системи (19), до яких перенесемо праворуч члени з вже відомими B_1 і B_2 . Маємо СЛАР третього порядку відносно B_i , де $i = 3..5$, в якій коефіцієнти є степеневими функціями не вище за другий порядок від невідомих σ_i . Визначимо вираз для B_i за формулами Крамера і прирівняємо їх відповідним значенням (15), (17) та (18), використовуючи (14) та (16).

Висновки. Таким чином, завдання зводиться до вирішення системи нелінійних рівнянь другого та третього порядку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение нанокристаллов ZnS методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / М. Ф. Буланый, А. В. Коваленко, А. С. Морозов, [та ін.] // Журнал нано- та електронної фізики. - 2017. - Т. 9, №2, С. 02007-1 – 02007-4.
2. Чебышев П. Л. Теория вероятностей / Пафнутий Львович Чебышев - М.,Л.: Изд-во АН СССР, 1936. — 252 с.

REFERENCES

1. Poluchenie nanokristallov ZnS metodom samorasprostranyayuschegosya vyisokotemperaturnogo sinteza / M. F. Bulanyi, A. V. Kovalenko, A. S. Morozov, [ta in.] // Zhurnal nano- ta elektronnoyi fiziki. - 2017. - T. 9, #2, S. 02007-1 – 02007-4.
2. Chebyishev P. L. Teoriya veroyatnostey / Pafnutiy Lvovich Chebyishev - M.,L.: Izd-vo AN SSSR, 1936. — 252 s.

Received 02.04.2022.
Accepted 04.04.2022.

Method of own forms for determination of separate bands

The problem of determining the separate bands of the phosphor photoluminescence spectrum described by the Gaussian function is solved by the method of decomposition into its own forms. This allows you to calculate two parameters of each band: amplitude and variance. An example is the photoluminescence spectrum of a ZnS:Mn single crystal. It consists of five separate bands. Two systems of fifth-order equations linear for one parameter of each band are obtained. This parameter is generalized and is equal to the product of the amplitude and the root of the variance. The coefficients of these systems depend on the second parameter. This nonlinear parameter is related to variance. In order to simplify the two systems, the problem is solved in several stages. Based on the analysis of literary sources, the two largest bands are selected. In addition, the origin of coordinates is well chosen. This allows us to simplify both systems and completely determine the parameters of each of the largest bands from the systems of second-order equations. As a result of these simplifications, the order of the two systems and the parameters of the other three bands are reduced.

Thus, the problem is reduced to solving a system of the second and third order nonlinear equations.

Морозов Олександр Сергійович - асистент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Morozov Alexander Sergeyevich - Assistant Professor of Computer Systems Engineering Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

В.У. Ігнаткін, М.І. Горбійчук, В.С. Дудніков,
О.П. Юшкевич, В.Т. Болонний, В.А. Тіхонов

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ
ПАРАМЕТРІВ ПЕЧЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРДА
З ОПТИМІЗАЦІЄЮ СПІВВІДНОШЕННЯ «ГАЗ-ПОВІТРЯ»
ЗА ВИЗНАЧЕНИМ ЗНАЧЕННЯМ**

Анотація. Приведена система автоматизації, яка дозволяє управляти автономним використанням газу зі збереженням якості технологічного процесу.

Наведений алгоритм, відповідні йому програми та технічні засоби системи автоматизації здійснюють регулювання витрат повітря при різних значеннях кількості палива, тобто газу. Коефіцієнт співвідношення «газ-повітря» визначається експериментально за даними аналізу відхідних газів для конкретного типу печі.

Алгоритм регулювання реалізується за допомогою мікропроцесорного контролера, і включає: регулювання за ПІД – законом (пропорційно-інтегрально-диференціальним); процедуру лінеаризації, яка обробляє вхідні значення витрат газу і повітря та зменшує похибки вимірювань датчиків витрат, особливо у початковій частині робочого діапазону; кусково-лінійну апроксимацію, яка дозволяє: аналітично представити задані залежності співвідношень, гнучко настроювати та змінювати параметри контурів регулювання, що адаптує систему управління до конкретних виробничих умов.

Контролери можуть налаштовуватися як на нижньому рівні розподіленої АСУ ТП та зв'язуватися з засобами верхнього рівня через канал цифрового послідовного зв'язку, так і використовуватись в якості автономного пристрою.

Показання вимірюваних та розрахованих параметрів відповідних фізичних величин лічильник відображає на матричному табло своєї лицевої панелі.

До лічильників підключається комп'ютер з принтером, які розташовані на щитовій цеху. Розроблені програми, які реалізують алгоритми управління, написані на мові Delphi 3.0 з використанням засобів BDE (BorlandDatabaseEngine).

Розроблені також технологічні програми і комплект документації для експлуатації системи.

Система орієнтована на щодобову роботу спільно з вимірювальними приладами лічильників. Показання приладів знімаються з проміжками від однієї до ста двадцяти хвилин, в залежності від заданих уставок, які водяться на лицевій панелі. Інформація від лічильників зберігається у базі даних «Infoterm.db», а також у архівній базі даних «Archive.db».

© Ігнаткін В.У., Горбійчук М.І., Дудніков В.С.,
Юшкевич О.П., Болонний В.Т., Тіхонов В.А., 2022

Причому база даних «Infoterm.db» звільняється від даних кожну добу перед пуском програм системи.

Технологічна програма для лічильників теплової енергії зроблена на підставі попередніх розрахунків вимірювальних діафрагм з заводу-виробника з дотриманням метрологічних і технологічних умов (метрологічна атестація та інше).

При необхідності робиться налаштування програмного забезпечення.

Ключові слова: теплові параметри, алгоритм, система регулювання, кусково-лінійна апроксимація, співвідношення «газ-повітря».

Метою роботи було удосконалення системи автоматичного управління тепловими параметрами печей термічної обробки корду каландрового цеху підприємства при регулюванні співвідношення «паливо-повітря».

1 Загальні відомості про алгоритми та способи регулювання співвідношення «паливо-повітря» в нагрівальних печах. Одним з напрямлень підвищення ефективності роботи термічних печей є модернізація систем управління їх тепловим режимом. Актуальність цієї задачі обумовлена необхідністю удосконалення керування піччю при значних витратах паливно-енергетичних ресурсів в технологічному процесі термообробки матеріалу.

Перспективною є заміна морально та фізично застарілої апаратури керування на підставі контролерів, які виконані на мікропроцесорній елементній базі, спеціалізованій для вирішення задач автоматичного регулювання та дозволяють вести локальне, каскадне, програмне супервізорне, багатозв'язне, екстремальне регулювання, а також управління об'єктами зі змінною структурою.

Для цього було застосовано алгоритмічні блоки контролеру Реміконт, які формують пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання, виконують статичні і динамічні перетворення змінних, та обробляють і формують дискретні сигнали, і тим самим виконують операції у керуючій логіці [1].

Контролери можуть налаштовуватися як на нижньому рівні розподіленої АСУ ТП та зв'язуватися з засобами верхнього рівня через канал цифрового послідовного зв'язку, так і використовуватися в якості автономного пристрою [2].

Контролер налаштовується на рішення необхідної задачі безпосередньо на об'єкті за допомогою спеціалізованої панелі керування. У процесі налаштування наладчик призначає алгоритми керування, конфігурацію керуючого контуру, параметри статичного та динамічного налаштування, а також встановлює сигнали завдання на режимі керування. Запрограмовані параметри зберігаються при відключенні живлення.

Структура алгоритмічних блоків контролеру Реміконт дозволяє вирішувати всі задачі, які обчислюються за допомогою традиційних аналогових приладів. Крім того, блоки можуть формувати, програмно змінювані у часі сигнали, операції керованої логіки, каскадного та супервізорного керування.

Найбільш ефективно використання такої структури контролерів у випадках, коли заздалегідь незрозуміло, якій схемі регулювання віддати перевагу та мається вірогідність того, що після промислового пуску система буде змінюватися й доповнюватися. Коректування структури керуючих контурів може бути виконане безпосередньо на промисловому об'єкті швидко та без яких-небудь витрат. В умовах нестаціонарних процесів забезпечується включення та відключення окремих контурів, автоматичне перемикання керуючої структури, автоматичні зміни параметрів налаштування для адаптації системи регулювання до динаміки технологічного процесу, який змінюється.

Як показує досвід, використання існуючих алгоритмів керування тепловим режимом, за рідким виключенням, не дає помітної ефективності від впровадження нової елементної бази електронних пристроїв. Значне покращення показників роботи можна досягти лише при більш досконалому програмному забезпеченні контролерів, які найбільш повно враховують особливості теплових режимів конкретного термічного агрегату.

2 Аналіз існуючих алгоритмів керування спалюванням палива. У полум'яних печах регулювання процесу горіння відбувається зазвичай по відношенню фактичного співвідношення «газ-повітря» до заданого [3].

Алгоритмом регулювання співвідношення «паливо-повітря» [4] передбачається зміна витрат газу та повітря по зонам багатозонної печі. При цьому по ходу димових газів, після першої зони визначається співвідношення витрат повітря та палива в кожній послідовній зоні по сумі витрат в даній зоні та попередніх їй зонах. Далі розраховуються зміни витрат повітря по відношенню вказаного співвідношення від заданого значення.

При різних коефіцієнтах витрат повітря по зонам печі кількість повітря, яке подається на спалювання в дану зону, істотно залежить від теплової потужності попередніх зон та заданих коефіцієнтів витрат повітря в цих зонах. Коливання теплової потужності зон при роботі системи керування тепловим режимом в них приводить до значних відхилень витрат повітря при спалюванні від стехіометричного співвідношення. Це погіршує організацію спалювання палива в зонах та знижує коефіцієнт корисного використання енергії палива. Зменшення фактичного коефіцієнту витрат повітря α нижче стехіометричного

призводить до недопалу. При $\alpha < 0,6$ утворюється кіптявий факел, що різко погіршує умови теплообміну. Значне перевищення коефіцієнту витрат палива над стехіометричним крім погіршення паливо-використання, несе небезпеку зриву та погасання факелу горілок, що створює аварійні ситуації.

Спробою локалізувати процес спалювання палива, яке подається в зони, межами цих зон, виключення недопалу й порушень стабільності факелу являється алгоритм, запропонований в [5]. Він передбачає виконання наступних операцій. Зональним системам регулювання співвідношення – встановлюють задані відношення витрат повітря та палива $\alpha_{1}^{3n}, \alpha_{2}^{3n}, \dots, \alpha_{i-1}^{3n}, \alpha_i^{3n}$. Виконують неперервне вимірювання витрат газу та повітря, яке подається в кожну зону, оцінюють витрати повітря та палива, які подаються в послідовуючу зону. Оцінюють витрати повітря та палива в кожній зоні з урахуванням їх подачі в попередні зони та першу. Визначають знак та величину відношень отриманих відхилень від заданих значень для кожної з зон печі. Після чого регулюють подачу повітря в зони до усунення цих відхилень та досягають відповідності між заданими і фактичними відношеннями витрат повітря й палива. Таким чином, визначають ряд співвідношень витрат повітря та палива по подачі на горіння в зонах 1, 2, ..., $i-1$: $\alpha_{1}^n, \alpha_{2}^n, \dots, \alpha_{i-1}^n, \alpha_i^n$. При збільшенні теплової потужності попередньої зони відносно даної в умовах $\alpha_{1}^{3n} > \alpha_{i-1}^{3n}$ питомі витрати повітря в даній зоні збільшуються.

При підвищенні відношення витрат повітря та палива до граничного (максимально допустимого) збільшують задане співвідношення в суміжній попередній зоні α_{i-1}^{3n} . При цьому перерозподілі сумарних витрат повітря між даною та суміжною попередніми зонами здійснюють збільшення витрат повітря в суміжну попередню зону (зону з меншим α^3). В зоні з більшим α^3 , тобто в даній, зменшують витрати повітря на ту ж величину. Зміна подачі повітря в попередню та зниження в дану зони продовжується до встановлення фактичного співвідношення витрат повітря та палива. При цьому горіння в даній зоні йде на рівні гранично допустимого α_{imax} .

При подальшому збільшенні співвідношення теплових потужностей попередньої V_{i-1} та даної V_i зон α_i^n підтримується на рівні $\alpha_{\text{поперimax}}^{\text{попер}}$ за рахунок подальшого збільшення питомих витрат повітря у суміжну попередню зону. Зі зміною теплових навантажень зон печі у сторону зменшення співвідношення V_{i-1}/V_i величина корекції α_{i-1}^3 зменшується. Корекція зупиняється в момент зменшення фактичного співвідношення витрат повітря та палива на пальники даної зони нижче гранично допустимого $\alpha_{\text{поперimax}}^{\text{попер}}$.

В зонах, де має місце $\alpha^{3n}_i > \alpha^{3n}_{i-1}$, при відносному збільшенні теплової потужності попередньої зони системою автоматики здійснюється зниження питомих витрат повітря на пальники даної зони. При його зменшенні до граничного (мінімально допустимого $\alpha^{n\text{попер}}_{imin}$) задане співвідношення α^{3n}_{i-1} у суміжній попередній зоні зменшують. На однакову величину зменшують витрати повітря у попередню зону та збільшують в дану до забезпечення умови $\alpha^n_i = \alpha_{imin}$. Стабілізація α^n_i на цьому рівні в умовах подальшого збільшення V_{i-1}/V_i здійснюється аналогічно.

При зменшенні теплової потужності попередньої зони або збільшенні подачі палива в дану, питомі витрати повітря в попередню зону збільшують до перевищення співвідношення витрат повітря та палива на пальники даної зони α^n_i . Величини $\alpha^{n\text{попер}}_{imin}$, у подальшому корекції не підлягають. У попередній зоні підтримують величину α^3_{i-1} відповідно з початково заданим значенням.

Формалізований алгоритм керування для i -тої, тобто даної, зони та попередньої ($i-1$)-ої можна представити наступним чином: якщо в попередню зону не потрапляє недопалене паливо або надлишкове повітря з інших зон, то зв'язок між кількостями повітря в цих зонах можна представити в вигляді

$$V_{i-1} = V_i - A \cdot \alpha^3_i - A \cdot L_0, \quad (1)$$

$$V_i = (V_l + V_{i-1}) \cdot \alpha^3_i \cdot L_0 - V_{i-1} = L_0 \cdot [V_l \cdot \alpha^3_i - V_i - A \cdot (\alpha^3_i - \alpha^3_{i-1})], \quad (2)$$

де A – об'єм палива, в даних умовах $A=1 \text{ м}^3$;

V – витрати палива;

L_0 – теоретичні витрати повітря на 1 м^3 палива.

Коефіцієнт витрат повітря на паління даної зони можна представити

$$\alpha^n_i = V_l/V_i \cdot L_0 = \alpha^3_i + V_i - 1/V_i \cdot (\alpha^3_i - \alpha^3_{i-1}) \quad (3)$$

при цьому повинно виконуватись умова

$$\alpha^{n\text{попер}}_{imin} \leq \alpha^n_i \leq \alpha^{n\text{попер}}_{imax}. \quad (4)$$

Величина α^3_i визначає кінцеву кількість спалювання палива в двох зонах та повинна підтримуватися на заданому рівні (зазвичай $\alpha^{3n}_i = 1$ в останній зоні по ходу дима).

Зрив факела можливий, якщо $\alpha^{3n}_i > \alpha^{3n}_{i-1}$, тому скоректована величина α^3_{i-1} повинна підтримуватись на рівні

$$\alpha^3_{i-1} \geq \alpha^3_i - (\alpha^{n\text{попер}}_{imax} - \alpha^{3n}_i) \cdot V_i/V_{i-1}. \quad (5)$$

У період корекції фактичне α^3_{i-1} перевищує установлене початкове α^{3n}_{i-1} . Момент початку та кінця корекції відповідає рівності $\alpha^3_{i-1} = \alpha^{3n}_{i-1}$. Таким чином, корекція відбувається при співвідношенні витрат палива

$$V_{i-1}/V_i \geq (\alpha^{n\text{попер}}_{imax} - \alpha^{3n}_i) / (\alpha^{3n}_i - \alpha^3_{i-1}). \quad (6)$$

Зменшення α_i^n до α_{imin}^{nonep} можливе у випадках $\alpha_i^{3n} < \alpha_{i-1}^{3n}$, тому для $(i-1)$ -ої зони при регулюванні спалювання повинна відбутися умова

$$\alpha_{imin}^{nonep} \leq \alpha_i^{3n} + (V_{i-1})/V_i \cdot (\alpha_i^{3n} - \alpha_{i-1}^{3n}) \quad (7)$$

або

$$\alpha_{i-1}^{3n} \leq \alpha_i^{3n} + V_i/V_{i-1} \cdot (\alpha_i^{3n} - \alpha_{imin}^{nonep}). \quad (8)$$

Вимірювання $i-1$ відносно початкового заданого у цій ситуації відбувається при співвідношенні витрат палива

$$V_{i-1}/V_i \geq (\alpha_i^{3n} - \alpha_{imin}^{nonep})/(\alpha_{i-1}^{3n} - \alpha_i^{3n}), \quad (9)$$

причому початку та припиненню корекції відповідає знак рівності в цьому виразі.

Величина граничних співвідношень повітря та палива при подачі залежить від умов спалювання палива в печі, типу використаних пальників, виду палива, діапазону коливань робочого тиску газу та повітря, тощо.

Тому рекомендується визначити їх експериментально.

Загальним недоліком перерахованих алгоритмів керування являється те, що якість спалювання повітря лімітується похибками витратомірів палива та повітря, які різко зростають при низьких витратах компонентів. Крім того, тут не можуть бути враховані можливі підсмоктування повітря через нещільності печі.

В системі регулювання спалювання палива [5] здійснюється корекція заданого коефіцієнту витрат окислювачу за кількістю кисню в продуктах згорання, що уходять. Однак, діапазон змінення витрат кисню в зоні регулювання визначається робочими характеристиками пальників та співвідношенням теплової потужності цієї зони й решти зон печі, тому ця система має граничні можливості по керуванню.

Крім того, змінюючи згідно цього алгоритму коефіцієнт витрат окислювачу в одній зоні можна стабілізувати концентрацію кисню в продуктах спалювання, таким чином уникнути неекономічної теплової роботи зон печі в цілому.

Наведений [6] алгоритм використовує послідовну корекцію по зонам за вмістом кисню. У ньому використовується необхідний по технології розподіл по зонам та шаг змінення. Регулювання витрат окиснювача з корекцією його по складу диму, що виходить, проводиться послідовно по зонах печі змінюванням коефіцієнту витрат окиснювача. При надлишку окислювача в продуктах спалювання, що відходять, коефіцієнт витрат зменшується в напрямку руху продуктів спалювання, а при недоліку – збільшується в зворотному напрямку.

При цьому коефіцієнт витрат окиснювача змінюється циклічно в діапазоні 0,7...1,4, з послідовним зменшенням шагу від зони до зони, в межах 0,2...0,05 у кожному циклі.

Однак змінення коефіцієнтів витрат окиснювача по зонам таке, що після зняття збурення на об'єкт, коефіцієнти витрат окиснювача по зонам не відновлюються на своєму колишньому рівні.

В останніх по ходу диму зонах ці коефіцієнти змішуються в сторону збільшення відносно технологічно заданих, а у перших - в сторону зменшення. Достатньо 2...3 коливань витрат або підсмоктувачів повітря, складу палива або продуктивності печі, щоб коефіцієнти витрат окиснювача на останніх по ходу диму зонах досягли граничного значення 1,4, а перших - 0,7. У подальшому спалювання палива в цих зонах відбувається при вказаних граничних коефіцієнтах або значеннях, близьких до них. Це не раціонально, так як призводить до різкого зниження калориметричної температури паління палива в зонах, продуктивності печі, необхідності підвищення теплової потужності та перевитрат палива.

В алгоритмі [7] для зменшення відхилень коефіцієнтів витрат повітря по зонам печі від заданих та підтримки технологічного розподілу кисневого потенціалу по довжині печі, крім перерахованих вище операцій, визначають фактичні коефіцієнти витрат окислювачу на кожну зону, їх відхилення від заданих значень та середньозважене по витратах палива відхилення, а потім здійснюють корекцію заданих значень коефіцієнтів витрат окиснювача по всім зонам на величину середньозваженого відхилення.

Указаний алгоритм відрізняється специфічністю використання. Доцільність його використання обмежена, в основному, багатозонними печами з протиточним рухом продуктів паління та термообробляемого матеріалу.

Запропоновано алгоритм корекції співвідношення витрат повітря та палива, з використанням магнітного газоаналізатору [8]. Однак цінність алгоритму, як і тих, що використовують інформацію про склад продуктів паління, зводиться на «ні» із-за великого часу запізнювання датчика (зазвичай 40...50 с).

Деякі алгоритми керування спалюванням палива використовують непрямі параметри для формування корекції. Згідно алгоритму [9] безперервно здійснюється вимірювання температури робочого простору печі та визначається розрахункова температура поверхні матеріалу, який нагрівається. Далі визначається перепад між ними, і середньоінтегральна температура матеріалу. Ця інформація використовується для корекції співвідношення «паливо-повітря».

Низька ефективність цього алгоритму визначається низькою надійністю розрахункових моделей, які використовуються для визначення температури поверхні нагріваного матеріалу та розподілу її по перетину. Використання прямого заміру температури поверхні матеріалу в процесі нагрівання для корекції співвідношення «паливо-повітря» в [10] також не може дати позитивного результату, так як похибки показань пірометра із-за зміни ступеню чорноти поверхні матеріалу, кута візування, випромінювання середі поміж пірометром та матеріалом дуже великий. Спробою оптимізації процесу спалювання являється використання двоконтурної системи керування, в яку входять регулятори співвідношення витрат палива та повітря у пальниках та їх оптимізатори, які автоматично управляють регуляторами, завдаючи співвідношення витрат по температурі факелу [11]. Температуру факелу вимірюють через стінку печі. Вона служить показником умов спалювання палива: оптимальному режиму паління відповідає максимальна температура факелу. Контур оптимізації повинен міняти завдання на відповідність «паливо-повітря» до досягнення максимальної температури, працюючи у пошуковому режимі.

Головним недоліком цього алгоритму керування, який не дозволяє йому знайти використання у промисловості, являється значний вплив продуктивності пальника на показання пірометра. При підвищенні витрат палива зона максимального тепловиділення факелу віддаляється від пальника, а при зменшенні – зміщується до нього. Поле візування пірометра в цей час залишається фіксованим. Пов'язані з цим зміни показників пірометра досягають значної величини та інформація від цього знецінюється.

У теперішній час виконуються пошукові роботи по розробці безінерційних датчиків контролю якості спалювання палива, які дозволили б здійснити оперативне керування процесом. Найбільш перспективним з них являється метод контролю електропровідності полум'я [12]. Однак до рішення проблеми стійкості електродів, підвищення стабільності показань датчика та випуску серійного зразка не доцільно рекомендувати його для промислового використання в системі керування.

Як показує аналіз відомих алгоритмів, а також накопичений досвід втілення та експлуатації систем автоматичного керування спалюванням палива на базі мікропроцесорних контролерів [13], дуже ефективно для реалізації алгоритму, використання таблиць апроксимації для обчислення витрат окислювачу, які отримуються експериментальним шляхом на конкретному об'єкті.

3 Алгоритм регулювання витрат повітря по заданому коефіцієнту співвідношення «паливо-повітря». Алгоритм здійснює регулювання витрат палива для оптимального режиму роботи печі термообробки корда каландрового цеху при будь-яких значеннях витрат палива.

Необхідна для роботи кількість повітря визначається виразом

$$G_6 = K_I \cdot G_z, \quad (10)$$

де G_6 – витрати палива, м³/год;

G_z – витрати газу, м³/год;

K_I – коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт K_I визначає задане співвідношення, необхідне для оптимальної роботи печі. Цей коефіцієнт визначається експериментальним шляхом для кожної нагрівальної печі, по даним аналізу відходячих газів.

Вхідними величинами алгоритму являються витрати газу і повітря та таблиця апроксимації співвідношення паливо-повітря, яка складена на основі газового аналізу. За безперервно вимірюваною величиною витрат газу і з допомогою таблиць апроксимації визначається необхідна величина повітря, що подається. Отримане таким чином значення витрат повітря подається на регулятор витрат повітря в якості величини завдання, на другий вхід регулятора подається вимірюване значення витрат повітря. Таким чином здійснюється стабілізація кількості повітря, яке необхідне для оптимальної температури нагрівального колодязю.

Структурна схема алгоритму регулювання витрат повітря по заданому коефіцієнту співвідношення приведена на рис.1. Алгоритм розроблений для реалізації з використанням мікропроцесорного контролеру типу Реміконт Р-130.

Функціональні можливості даного мікропроцесорного пристрою дозволяють реалізувати розроблений алгоритм з максимальною виробничою ефективністю. Реміконт у своєму складі має алгоритмічні блоки регуляторів, що реалізують ПІД-закон регулювання, блоки лінеаризації, які дозволяють лінеаризувати вхідне значення витрат газу та палива, що значно зменшує похибки вимірювання витрат, особливо в початковій частині робочого діагнозу датчиків витрат. Блок кусочно-лінійної апроксимації дозволяє здійснити реалізацію заданої залежності співвідношення. Гнучкість та можливість налаштування та вимірювання параметрів контурів регулювання дозволить адаптувати систему керування до конкретних виробничих умов.

Регулююча модель Реміконту модифікації 15 дозволяє реалізувати цей алгоритм на 4 печах обробки корду каландрового цеху заводу «Білоцерковщина».

Робочою документацією передбачена установка на існуючих трубопроводах пару, що забезпечують теплом ділянку 40” обчислювально вимірювального комплексу каландрового цеху від загальноцехових колекторів, лічильників теплової енергії СПТ 90.

Об’єм автоматизації представлений на кресленні 111-АТХ.С3.

У робочій документації використані прилади, які серійно виготовляються промисловістю України.

Для трубопроводів пару лічильник теплової енергії СПТ 90 на основі вимірюючої діаграмами маси, яка протікає в трубопроводах, температури пару (вимірюючої термоперетворювачами опору) та тиску (вимірюючого датчиком тиску) розраховується потрібна кількість тепла.

Показання вимірюваних та розрахованих параметрів у відповідних фізичних величинах лічильник відображає на матричному табло лицьової панелі. Табло має одинадцять позицій та можливість відображати цифри, букви та символи. Показання складаються з умовного позначення та значення параметру. Вивід показань здійснюється за викликом оператора з клавіатури лицьової панелі у режимі одиночного параметру або прокручування меню, яке включає групи параметрів. Номенклатура параметрів містить групу призначених та групу тільки виводимих, які відповідають результатам вимірювань.

Введення лічильників дозволяє здійснити архівування по значенням вихідних та облікових параметрів: добовим, декадним, місячним.

Алгоритми перетворювань (розрахунків) реалізуються резидентним програмним забезпеченням лічильника та повністю (без будь-яких скорочень, спрощень, апроксимацій і т.п.) відповідають діючим нормативним документам, які регламентують вимірювання витрат теплоносіїв, обліку та використання теплової енергії. Значення теплофізичних характеристик теплоносіїв (щільність, ентальпія, в’язкість, показник адіабати) визначається лічильником згідно офіційним даним державної служби стандартних довідникових даних (ДСТДД) у робочих умовах: 160-400 °C та 0,4-10,00 МПа – для пару. Тут тиск – абсолютний.

Схема автоматизації представлена на рисунку 2 та специфікація до нього – у таблиці.

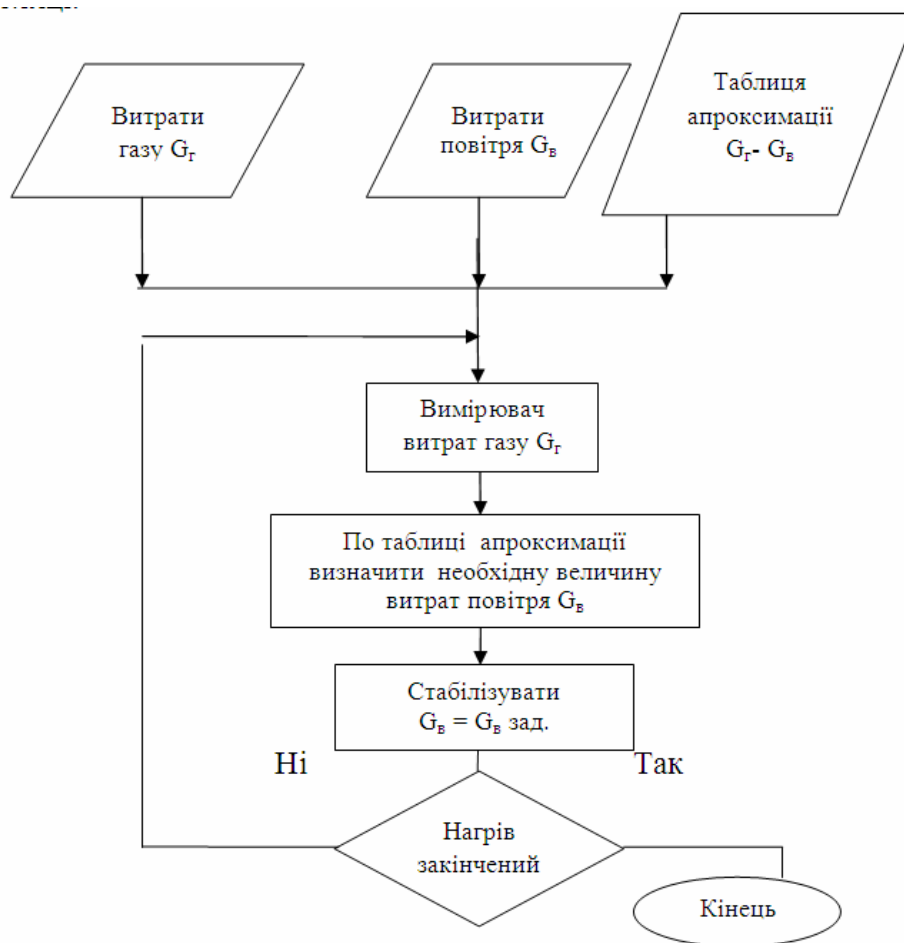


Рисунок 1 – Структурна схема алгоритму

Лічильник забезпечує підвищення точності, розширення діапазону вимірювань витрат теплоносія (перемикання з дифманометру на дифманометр здійснюється автоматично) з допустимою нормованою похибкою та підвищенням достовірності обліку витрачених теплоносіїв та теплової енергії.

Лічильник належить повірці при випуску з виробництва та при експлуатації. Рекомендований міжповірочний інтервал – 1 рік.

Лічильник призначений для безперервної роботи при штатному електроживленні напругою 220В частотою 50Гц. У випадку перерв у електроживленні сумарної тривалістю до 3 діб лічильник забезпечує відновлення бази даних та ведення обліку часу перерв живлення.

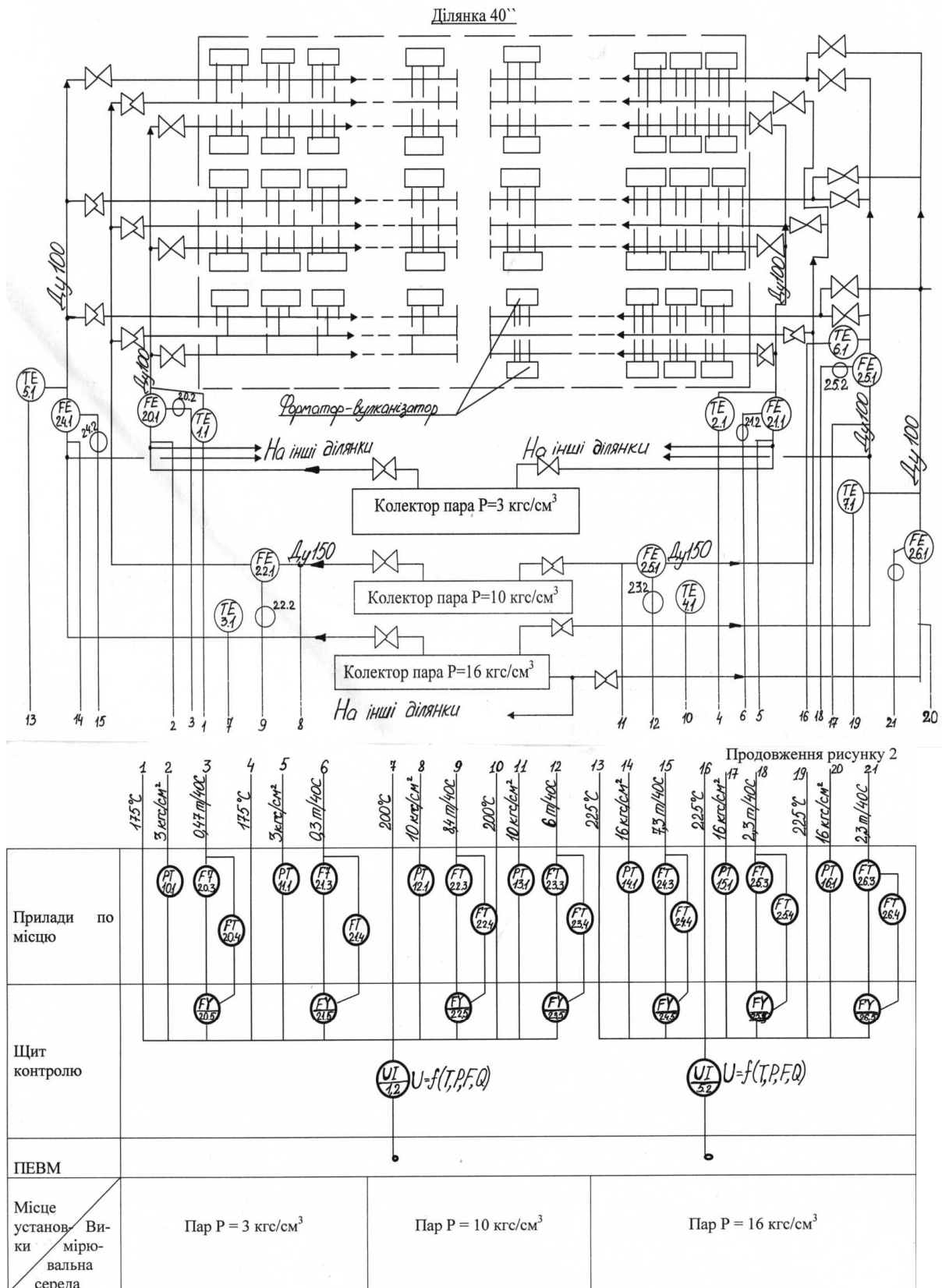


Рисунок 2 – Схема автоматизації

Лічильник має розвинену систему діагностики нештатної ситуації в складових частинах та вхідних і вихідних ланцюгах. Результати діагностики відображаються на табло лицьової панелі і передаються у зовнішній ланцюг.

Лічильник має можливість захисту від несанкціонованого втручання у роботу шляхом пломбування органів відключення електроживлення, вимірювання даних, зупинки підрахунку, підключення ланцюгів датчиків та доступу до внутрішніх частин.

Лічильник СПТ 90 розміщений на щиті контролю, який розташований в щитовій енергоустановок.

До лічильника СПТ 90 підключений комп'ютер з принтером, які розміщені в щитовій. Таким чином відбувається документування на паперовому носії результатів вимірювань, в тому числі їх архівних значень, облікових та контрольованих параметрів. Так що відсутня необхідність наявності дублюючої системи контролю на базі самодрукуючих реєструючих приладів для будь-якої групи обліку споживання теплової енергії.

Специфікація до схеми, яка зображена на рисунку 2.

Таблиця

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1.17.1	Термоперетворювач опору ТСП-1088	7	
1.2, 5.2	Лічильник теплової енергії СПТ-90	2	
10.116.1	Датчик надлишкового тиску МІДА-ДІ-01П	7	
20.1, 21.1, 24.126.1	Діафрагма ДКС-10-100	5	
22.1 23.1	Діафрагма ДКС-10-150	2	
20.2 26.2	Сосуд зрівняльний конденсаційний СКМ	14	
20.3 26.3 20.4 26.4	Манометр диференційний мембранний взаємозамінюваний ДМ-3583М	14	Комплект перетворювачів вимірювальної різниці тиску ДМТ-3583М
20.5 , 21.5	Блок перетворювання та лінеаризації БПЛ	7	

СПТ 90 надає можливість швидкого змінення номенклатури документованих параметрів – виключення та/або додавання по мірі необхідності у форматі печаті – від всіх до одного. В умовах експлуатації також легко змінити періодичність роздрукування кожного документованого параметру. Видача повідомлень на принтер може (по вибору користувача) наступати по кожній з подій: змінення значення оперативного параметру, закінчення календарного часу та календарних діб, закінчення короткострокового та довгострокового інтервалів архівування, по виклику оператора.

Апаратура КІП розміщена на щиті, виготовлення якого передбачено на контактній ділянці. Електроживлення 220В приладів, розміщених на щиті контролю передбачено від існуючих підведень електроживлення. Споживана потужність 550 ВА.

Висновки.

1. Запропоновано підхід та метод економних витрат газу в технологічному процесі термічної обробки корду, які полягають у регулюванні співвідношення «газ-повітря», в залежності від коливань теплотворної здатності, витрат та тиску.

2. Розроблена автоматизована система регулювання теплових параметрів 4-х печей термообробки корда з оптимізацією співвідношення «газ-повітря» при визначеному значенні [14-20].

3. Розроблені програми та комплект документації для експлуатації автоматизованої системи [14].

Наукова новизна: одержано метод визначення коефіцієнту співвідношення «газ-повітря» за даними аналізу відхідних газів, з урахуванням особливостей конкретного підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контролер регулирующий микропроцессорный Ремиконт Р-110; Р-112; Р-120; Р-122: Техническое описание 2ЯА.399.540 ТО; контролер регулирующий микропроцессорный Ремиконт Р-130, Техническое описание.
2. Како Н., Ямане Я. Датчики и микро-ЭВМ: пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинг. отд-ние, 1986. – 120 с.: ил.
3. Каганов В.Ю., Блинов О.М., Белецкий А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами. – М.: Металлургия, 1974. – С.319.
4. Авторское свидетельство № 918690 СССР, МКИ F23N1/02, 1982.
5. Авторское свидетельство № 1746143 СССР, МКИ F23N1/02, 1992
6. Авторское свидетельство № 933756 СССР, МКИ С 21D 11/00, 1982.

7. Авторское свидетельство № 1746142 СССР, МКИ F23N1/02, 1992.
8. Коперович А.П. Краткий справочник по автоматическому регулированию в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1963. – С.374.
9. Авторское свидетельство № 543692 СССР, МКИ С 21D 11/00, 1977.
10. Авторское свидетельство № 382710 СССР, МКИ С 21D11/00, 1973.
11. Отчет о НИР «Разработка и внедрение экспериментального образца системы контроля и управления газовой смеси для отопления печей стана 1680 комбината «Запорожсталь». НИР ТА – 399 – 92. ИЧМ АН Украины, г. Днепропетровск, 1993.
12. Отчет о НИР «Внедрение системы управления технологией нагрева слитков цеха блюминга меткомбината «Криворожсталь» с применением микропроцессорной техники «Ремиконт-130». Заключительный отчет ТА 265.90 ИЧМ АН Украины, г. Днепропетровск, 1991 г.
13. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского контроля и учета параметров энергоносителей по цехам шинного завода на пультовой энергоустановке цеха ВИК. Рабочая документация. Основной комплект рабочих чертежей и прилагаемые документы. 111–АТХ. УОМПУ. г. Днепропетровск, г. Белая Церковь, 1996.
14. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского контроля и учета параметров энергоносителей по цехам шинного завода на пультовой энергоустановке цеха ВИК. Программное обеспечение системы учета потребления тепловых энергоресурсов участком 40. 111 – АТХ. УО МПА. г. Днепропетровск, г. Белая Церковь, 1996.
15. Тонкошкур О.С., Ігнаткін В.У., Гомілко І.В. Цифрові пристрої та мікропроцесори. Навч. пос. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008. – 208 с.
16. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005 г. – 768 с.
17. Ігнаткін В.У. Особливості аналізу динамічної похибки в процесі оцінювання метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки //Метрологія та прилади. – 2019, №2. – С. 36-42.
18. Ігнаткін В.У. та інші. Математичне забезпечення технічних засобів вимірювання і контролю. Монографія за редакцією проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші. – М. Кам'янське: ДДТУ, 2019. – 340 с.
19. Ігнаткін В.У. та інші. Оцінка надійності і роботоспроможності електронних пристроїв та систем. Навч. посібник за ред. проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші. – М. Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 239 с.
20. Ігнаткін В.У. та інші. Метрологічне забезпечення якості продукції. Монографія за редакцією проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші: Запоріжжя, ЗНТУ, 2017. – 202 с.

REFERENCES

1. Regulating microprocessor controller Remikont R-110; P-112; P-120; R-122: Technical description 2YA.399.540 TO; microprocessor-based regulating controller Remikont R-130, Technical description.
2. Kako N., Yamane J. Sensors and micro-computers: trans. from japan. - L.: Energoatomizdat, Lening. department, 1986. - 120 p. : ill.
3. Kaganov V.Yu., Blinov O.M., Beletskiy A.M. Automation of control of metallurgical processes. - M.: Metallurgy, 1974. -- S.319.
4. Copyright certificate No. 918690 USSR, MKI F23N1 / 02, 1982.
5. Copyright certificate No. 1746143 USSR, MKI F23N1 / 02, 1992. 6. Copyright certificate No. 933756 USSR, MKI C 21D 11 / 00.1982.
7. Copyright certificate No. 1746142 of the USSR, MKI F23N1 / 02.1992.
8. Koperovich A.P. A quick reference guide to automatic regulation in the iron and steel industry. - M.: Metallurgy, 1963. -- S. 374.
9. Copyright certificate No. 543692 USSR, MKI C 21D 11 / 00.1977.
10. Copyright certificate No. 382710 USSR, MKI C 21D11 / 00.1973.
11. Research report "Development and implementation of an experimental model of a gas mixture monitoring and control system for heating furnaces of mill 1680 at the Zaporizhstal plant." R&D TA - 399 - 92. IChM Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1993.
12. Research report "Implementation of the control system for the heating technology of ingots in the blooming shop of the Krivorozhstal steel plant" using the "Remikont-130" microprocessor technology. Final report TA 265.90 IChM Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1991.
13. Automated system of operational dispatch control and metering of energy parameters in the shops of the tire plant at the control room of the power plants of the VIK shop. Working documentation. The main set of working drawings and attached documents. 111 – ATX. UOMPU. Dnepropetrovsk, Belaya Tserkov, 1996.
14. Automated system of operational dispatch control and metering of energy parameters in the shops of the tire plant at the control room power plant of the VIK shop. Software for the system of accounting for the consumption of thermal energy resources in section 40. 111 - ATX. UO MPA. Dnepropetrovsk, Belaya Tserkov, 1996.
15. Tonkoshkur O.S., Ignatkin V.U., Gomilko I.V. Digital attachments and microprocessors. Navch. pos. - Dniprodzerzhynsk: DDTU, 2008. -- 208 p.
16. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Information technology of technological process control systems. - M.: Higher school, 2005. - 768 p.
17. Ignatkin V.U. Particularities of the analysis of dynamical failure in the process of assessing metrological hopes in terms of dynamic technology // Metrology and attachments. - 2019, no. 2. - S. 36-42.

18. Ignatkin V.U. that inshi. Mathematical safety of technical means of monitoring and control. Monograph edited by prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi. - M. Kam'yanske: DDTU, 2019 .-- 340 p.
19. Ignatkin V.U. that inshi. Assessment of reliability and robotic capability of electronic attachments of systems. Navch. posibnik for ed. prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi. - M. Kam'yanske: DDTU, 2018 .-- 239 p.
20. Ignatkin V.U. that inshi. Metrological safety of product quality. Monograph edited by prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi: Zaporozhye, ZNTU, 2017 .-- 202 p.

Received 01.04.2022.

Accepted 04.04.2022.

***Automated control system for thermal parameters of cord heat treatment furnaces
with optimization of the "gas-air" ratio by a certain value***

The system of automation which allows to control autonomous use of gas with preservation of quality of technological process is resulted.

The given algorithm, corresponding programs, technical means of automation system carry out regulation of air expenses at any values of quantity of fuel (gas). The gas-to-air ratio is determined experimentally from the analysis of exhaust gases for a specific type of furnace.

The control algorithm is implemented using a microprocessor controller, and includes: PID control - law (proportional-integral-differential), linearization, which processes the input values of gas and air and reduces measurement errors of flow sensors and especially in the initial part of the sensor range; piecewise linear approximation, which allows: to implement the specified dependence of the ratios, flexibility and the ability to adjust and change the parameters of the control circuits, which adapts the control system to specific production conditions.

The controllers can be configured both at the lower level of the distributed ACS TP and communicate with the upper level through the digital serial communication channel, and used as a stand-alone device.

The meter of the measured and calculated parameters of the corresponding physical quantities displays them on the matrix board of its front panel.

A computer with a printer located on the panel shop is connected to the meters. Developed programs that implement control algorithms written in Delphi 3.0 using BDE (BorlandDatabaseEngine).

Technological programs and a set of documentation for the operation of the system have also been developed.

The system is focused on daily work in conjunction with meter gauges. Instrument readings are taken at intervals of one to one hundred and twenty minutes, depending on the settings made on the front panel. Information from the meters is stored in the database "Infoterm.db", as well as in the archival database "Archive.db". Moreover, the database "Infoterm.db" is released from the data every day before the launch of system programs.

The technological program for heat meters is made on the basis of preliminary calculations of measuring diaphragms from the manufacturer with observance of metrological and technological conditions (metrological certification, etc.).

If necessary, the software is configured.

Ігнаткін Валерій Устинович – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Горбійчук Михайло Іванович – д.т.н., професор, зав. кафедрою автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Дудніков Володимир Степанович – к.т.н., доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Юшкевич Олег Павлович – к.т.н., доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Болонний Василь Тарасович – к.т.н., доцент, заступник директора з навчальної роботи Дрогобицького фахового коледжу нафти та газу.

Тіхонов Василь Андрійович – директор Дніпровського фахового коледжу радіоелектроніки.

Ignatkin Valeri Ustinovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Gorbiychuk Mykhailo Ivanovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Dudnikov Volodymyr Stepanovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.

Yushkevich Oleh Pavlovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.

Bolonny Vasily Tarasovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor, Deputy Director for Academic Affairs of.

Tikhonov Vasyl Andriyovych - Director of the Dnieper Professional College of Radio Electronics.

Ю.С. Проїдак, Л.В. Камкіна, Я.В. Мянєвська

МІКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ПРОБ ПИЛУ ДСП

Анотація. В роботі визначено склад пилу електрофільтрів газоочисток ДСП при довготривалому зберіганні у відвалах з метою одержання інформації про віднесення пилу до небезпечних відходів. Визначення вмісту важких металів у відходах виконували методом атомно-абсорбційної по-лум'яної спектрофотометрії на спектрофотометрі ААС-1N.]. Вміст заліза загального та встановлення кількості його різного ступеня окиснення здійснювали методом окиснювально-відновного титрування біхроматом калію в кислому середовищі [6]. Комплексне металографічне дослідження проб пилу включав макроаналіз (при збільшенні $\times 16$), мікроаналіз структури торцевого зрізу котунів зі свіжого пилу електрофільтрів ДСП за допомогою оптичної мікроскопії ($\times 50$, $\times 500$). Детальний аналіз мікроструктури відібраних проб проводили за допомогою растрового мікроскопа електронного JSM-6490 в режимі вторинних упругорозсіяних електронів. Рентгеноспектральний аналіз відібраних проб проводили за допомогою енергетичного та хвильового спектрометрів – приставок до растрового електронного мікроскопа JSM-6490. Хімічний аналіз проб пилу показав, що значних відмінностей у вмісті заліза загального в представлених пробах пилу не спостерігається, хоча є деяке його зниження по глибині відвалу. Більш сильне зменшення при переході від поверхні відвалу в глибину відзначено вмісту Fe_3O_4 . Всі проби є магнітними, що свідчить про значні вмісти в пилу магнітного закису-окису заліза, найімовірніше в незв'язаному стані. Наявність у плавильній шихті домішок цинку і свинцю, що випаровуються при робочих температурах печі, призводить до їх окислення повітряним потоком в результаті чого в кінцевому пилу вони можуть бути як у вигляді вільних оксидів, так і у вигляді композиційних структур з оксидами заліза.

Ключові слова: пилі ДСП, хімічний склад, мікрорентгеноспектральний аналіз, екологія, рециклінг, цинк, свинець, залізо

Вступ. При виплавці сталі в ДСП близько 10-20 кг/т шихти виноситься з плавильного агрегату у вигляді дисперсних частинок та пари, що накопичуються у вигляді пилу в електрофільтрах газоочищення. Відомо, що пил газоочисток сталеплавильного виробництва (як ДСП, так і конвертерів) підприємств чорної

металургії переважно складається з оксидів заліза і після окускування може бути повернуто у виробничий цикл.

Проте, висока дисперсність та вміст важких металів (в основному цинку) пилів ДСП у багатьох країнах (країни Євросоюзу, США, Канада та ін.) призводить до того, що їх класифікують як небезпечні відходи, які неприпустимо вивозити у відвали без попередньої обробки, яка включає окомкування і стабілізацію хімічного складу для гарантованої відсутності вилуговування шкідливих домішок при контакті з атмосферними опадами і підґрунтовими водами [1, 2].

Крім того, накопичення у відходах лугів та важких металів (в основному цинку та свинцю), не дає можливості використовувати пряме повернення пилу в агрегат, що призведе до погіршення умов його роботи. Слід зазначити і те, що цинк, що міститься в пилу металургійних агрегатів, є дуже цінним елементом, що широко використовується в сучасній промисловості. Вміст цинку в пилу ДСП може досягати 20% і навіть більше.

Зростання виробництва оцинкованого листа для автомобілебудування та використання конструкційних матеріалів із захистом від корозії покриттями цинком призводить до збільшення відходів, що повертаються в переплав у вигляді скрапу, що різко ускладнить у найближчому майбутньому проблему утилізації сталеплавильних пилів.

Існуючі технологічні схеми утилізації пилу ДСП із вилученням цінних продуктів, розроблені в різних країнах, відрізняються використанням апаратурним оформленням процесу і засновані на різних фізико-хімічних закономірностях переробки. Аналіз представлених технологій показав, що вони вирішують проблему переробки обсягів пилу поточного виробництва, але відсутні детальні дослідження складу заскладованих пилів та визначення їх класу небезпеки для навколишнього середовища.

Вирішення цього завдання є актуальним і нагальним для сучасного підприємства з передовою технологією електросталеплавильного виробництва. На майданчику зберігання шламів і пилів електрофільтрів газоочищення накопичилася значна кількість відходів, що містять цінні метали. Їх витяг при переробці забезпечує повернення у виробництво цінних металів і одночасно сприяють зниженню забруднення навколишнього середовища, так як при цьому скорочуються викиди в відвали і запобігає шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людей.

Методика досліджень. Відбір проб промислових відходів проводився у місцях їх тимчасового складування та вилежування на території підприємства згідно [3]. Визначення вмісту важких металів у відходах виконували методом атомно-абсорбційної полум'яної спектрофотометрії на спектрофотометрі AAS-1N згідно з методикою [4] з подальшою обробкою результатів на ПЕОМ IBM Pentium IV. Зміст миш'яку та ртуті - методом інверсійної вольтамперметрії на приладі АВА-2.

Вивчення розчинності та рухливості важких металів у відходах проводили згідно з додатком № 6 до «Методики визначення складу та властивостей промислових відходів» [5]. Вміст заліза загального та встановлення кількості його різного ступеня окиснення здійснювали методом окиснювально-відновного титрування біхроматом калію в кислому середовищі [6]. Комплексне металографічне дослідження проб пилу включав макроаналіз (при збільшенні $\times 16$), мікроаналіз структури торцевого зрізу котунів зі свіжого пилу електрофільтрів ДСП за допомогою оптичної мікроскопії ($\times 50$, $\times 500$). Макроаналіз виконаний за допомогою стереометричного мікроскопа МБС-10. Мікроаналіз структури торцевого зрізу котунів проводили за допомогою світлового мікроскопа AXIO Observer m 1A фірми Карл Цейсс. Детальний аналіз мікроструктури відібраних проб проводили за допомогою растрового мікроскопа електронного JSM-6490 в режимі вторинних упругорозсіяних електронів. Рентгеноспектральний аналіз відібраних проб проводили за допомогою енергетичного та хвильового спектрометрів – приставок до растрового електронного мікроскопа JSM-6490. Досліджені проби (№№1-5) були відібрані з поверхні заскладованих на майданчику накопичення та вилежування залізовмісних пилів. Проба №6 відібрано з глибини відвалу на відстані 0,75 м від поверхні землі, проба № 7 – на 1,5 м від поверхні землі. Зразки котунів із залізовмісного пилу були відібрані на ділянці їх виробництва.

Результати комплексного металографічного дослідження. При візуальному огляді зовнішнього вигляду проб пилу встановлено, що є неоднорідність кольору проб (зразки № 3, 4, 6). У зразках присутні частки як яскраво-бурого, так і темно-бурого кольору, що може бути пов'язано з наявністю заліза різної валентності. Відбувається мимовільне конгломерування дрібнодисперсних частинок порошку в освіті розміром від 2 до 13 мм (зразки № 2, 3, 4, 5, 6, 7). Максимальні за розміром конгломерати спостерігаються у зразках № 3, 4, а максимальна кількість (%) конгломератів спостерігається у зразку № 3.

Пил газоочищення ЕСПЦ (свіжий) на відміну від лежачих проб являє собою дрібнодисперсний порошок яскраво-бурого кольору однорідного забарвлення за досліджуванім полем, в якому не відзначено поява конгломератів з частинок вихідного пилу. Цей пил використовується безпосередньо для отримання окомкованого матеріалу і не викликає складнощів в організації процесу отримання котунів.

Окомкований матеріал являє собою утворення сферичної форми, розмір яких становить в середньому 15-20 мм, має високу міцність.

Хімічний аналіз проб пилу показав (табл.1), що значних відмінностей у вмісті заліза загального в представлених пробах пилу не спостерігається, хоча є деяке його зниження по глибині відвалу. Більш сильне зменшення при переході від поверхні відвалу в глибину відзначено вмісту Fe_3O_4 . Всі проби є магнітними, що свідчить про значні вмісти в пилу магнітного закису-окису заліза, найімовірніше в незв'язаному стані. Наявність у плавильній шихті домішок цинку і свинцю, що випаровуються при робочих температурах печі, призводить до їх окислення повітряним потоком в результаті чого в кінцевому пилу вони можуть бути як у вигляді вільних оксидів, так і у вигляді композиційних структур з оксидами заліза. Такі відомості наводять автори [7].

Таблиця 1

Вміст заліза різної степені окисленості в пробах пилу

№ проби	$\text{Fe}_{\text{заг.}}$	FeO	Fe_3O_4
1	32,95	6,0	39,03
2	30,7	6,45	35,44
3	31,85	7,0	36,43
4	27,35	5,9	30,47
5	25,7	8,6	26,23
6	25,8	6,3	30,22
7	27,95	5,45	31,64
Окатиш	31,3	5,45	32,27

Металографічний аналіз торцевого зрізу окатишу показав, що поверхня зрізу має рельєфний характер, що, мабуть, пов'язано з наявністю структурних складових з різними фізико-хімічними властивостями. У загальній структурі торцевого зрізу окатишу простежується витягнутість зерен перпендикулярно площині тиску при злежуванні порошку. Чітко виражених меж немає, присутні

у структурі включення міцно з'єднані між собою. Сам окатиш є досить міцним з'єднанням, яке не руйнується при механічному впливі.

При детальному вивченні структури зрізу виявлено, що матриця є оксиди заліза (за кольором), у якій рівномірно розподілені кілька типів включень. Включення мають кулясту, кляксоподібну, пластинчасту форми, розмір яких коливається від 10 до 15560 мкм. Включення неоднорідні за структурою і розрізняються за кольором. Можливо, що кляксоподібну форму набувають частинки, які потрапляють в пил після випаровування при відносно невисоких температурах, тривалий час знаходяться в повітряному потоці і мають здатність до стирання.

Якісний та кількісний аналіз мікроструктури відібраних проб. Детальний аналіз мікроструктури відібраних проб проводили за допомогою растрового мікроскопа електронного JSM-6490 в режимі вторинних пружнорозсіяних електронів. Мікроструктури відібраних проб представлені дрібнодисперсним порошком переважно сферичної форми, отриманих при різному збільшенні.

У порошках (пробах) присутні частки неправильного огранювання світло-сірого кольору. Однорідність за формою спостерігається як у окремих частках, так і у конгломератах. Конгломерати являють собою злиплу механічну суміш частинок розмірами від 0,1 мкм. Більшість частинок має округлу форму, утворення якої пов'язано з кристалізацією з рідкого стану присутніх легкоплавких сполук. Усі відібрані проби мають яскраво виражені магнітні властивості.

Рентгеноспектральний аналіз відібраних проб. Рентгеноспектральний аналіз відібраних проб проводили за допомогою енергетичного та хвильового спектрометрів – приставок до растрового електронного мікроскопа JSM-6490. Проба порошку піддавалася рентгеноспектральному аналізу в характерних точках по полю зразка (позначені на електронному зображенні світлою точкою або контуром у вигляді окремої області).

Рентгеноспектральним аналізом у порошку №1 було виявлено 16 хімічних елементів (табл. 2), відзначається хімічна неоднорідність по окремих частинках порошку. У структурі порошку спостерігаються конгломерати сферичної форми розмір яких від 35 до 86 мкм (рис. 1); конгломерати розміром 43 мкм та форми близької до неправильно ограненої, в яких є дві області, різні за хімічним складом (світла та темна); частинки сферичної форми розміром 31 мкм; частинки, що мають металічний блиск, розмір яких коливається від 7 до 11 мкм.

Узагальнені результати хімічного складу поверхневої проби порошку

п/п	Хімічний елемент	Вміст елементу, % по масі	Середній вміст елемента, % по масі
1	O	5,33 – 39,29	27,79
2	Mg	0,22 – 1,57	0,56
3	Al	0,12 – 1,67	0,39
4	Si	0,88 – 20,72	6,44
5	P	0,17 – 0,63	0,12
6	S	0,11 – 12,26	4,27
7	Cl	0,16 – 1,33	0,28
8	K	0,22 – 19,01	8,98
9	Ca	0,52 – 10,39	6,34
10	Cr	0,10 – 0,29	0,13
11	Mn	0,36 – 63,03	16,29
12	Fe	7,4 – 29,02	14,82
13	Cu	0,16 – 0,43	0,17
14	Zn	1,94 – 21,86	10,18
15	Pb	0,52 – 16,84	3,18
16	Ti	0,16 – 0,29	0,06
17	As	н/о	н/о
18	Cd	н/о	н/о
19	Na	н/о	н/о

Максимальна кількість кисню (39,29 % за масою), сірки (12,26 % за масою) та калію (19,01 % за масою) міститься в конгломератах частинок рис. 1. У той же час максимальна кількість кремнію (20,72 % за масою) і марганцю (63,03 % за масою) міститься в конгломератах за формою близькою до ограненої, при цьому світла область містить максимальну кількість кремнію, темна - марганцю. Максимальна кількість алюмінію (1,67 % за масою), фосфору (0,63 % за масою), кальцію (10,39 % за масою), хрому (0,29 % за масою), цинку (21,86 % за масою), заліза (29,02 % за масою), міді (0,43 % за масою) та титану (0,29 % за масою) міститься в частках сферичної форми. Частинки, що мають металевий блиск, містять у собі максимальну кількість магнію (1,57 % за масою), хлору (0,63 % за масою) та свинцю (16,84 % за масою).

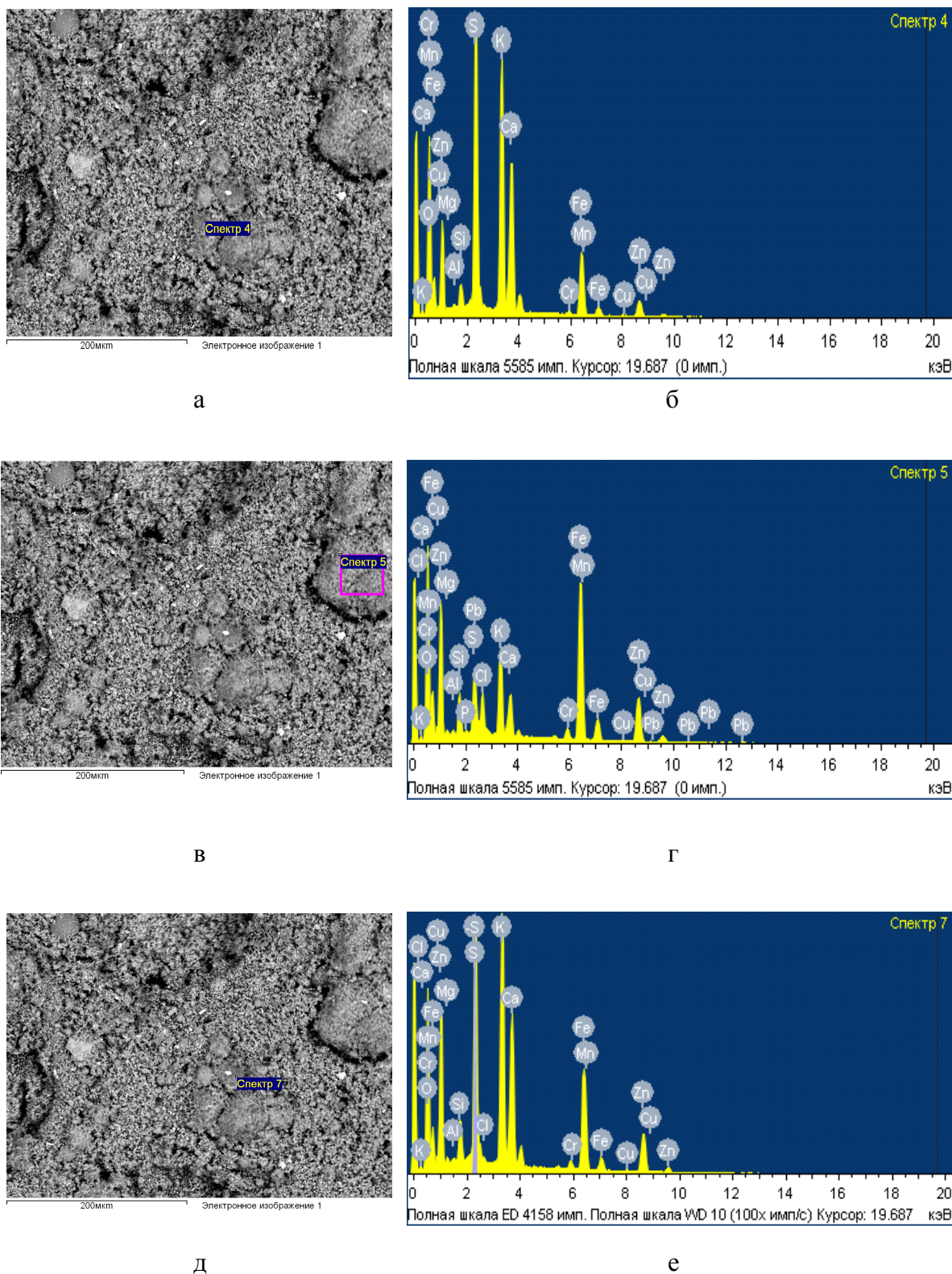


Рисунок 1 - Мікроструктура (а, в, д) та спектрограми (б, г, е) конгломератів сферичної форми

Зведена таблиця хімічного складу за елементами та зразками

№п/п	Хим. эл-т	Обр1.	обр.2	обр.3	обр.4	обр.5	обр.6	обр.7	Свежая пыль	Окат
1	O	27,79	21,67	30,84	31,60	23,98	26,35	33,66	25,32	22,03
2	Mg	0,56	1,50	1,43	1,10	0,80	0,82	1,24	0,91	0,32
3	Al	0,39	0,53	1,31	0,78	0,39	0,37	0,36	0,61	1,26
4	Si	6,44	2,57	3,08	5,88	2,32	1,80	2,36	3,96	2,06
5	P	0,12	0,14	0,28	0,21	0,10	0,12	0,12	0,20	-
6	S	4,27	0,63	0,06	0,17	0,01	0,60	0,54	0,57	1,67
7	Cl	0,28	6,31	1,77	0,64	1,11	1,01	1,04	1,37	13,92
8	K	8,98	1,81	0,90	1,22	1,54	2,59	3,40	2,17	3,64
9	Ca	6,34	7,77	4,66	7,88	6,17	5,91	10,85	2,35	2,89
10	Cr	0,13	0,18	0,07	0,14	0,17	0,21	0,16	0,31	0,16
11	Mn	16,29	2,54	0,95	8,29	1,85	1,97	1,74	2,44	0,60
12	Fe	14,82	28,52	19,20	18,98	34,53	24,22	18,93	30,59	15,26
13	Cu	0,17	-	0,35	0,04	0,40	0,17	0,07	0,05	0,01
14	Zn	10,18	20,77	18,06	18,48	19,19	30,95	20,58	26,69	7,33
15	Pb	3,18	1,70	15,22	4,20	7,13	2,90	4,11	2,25	0,17
16	Ti	0,06	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0,03	0,19
17	As	н/о	0,002	н/о	0,02	н/о	н/о	н/о	0,01	н/о
18	Cd	н/о	н/о	1,69	н/о	0,32	н/о	н/о	н/о	н/о
19	Na	н/о	3,42	0,35	0,36	н/о	н/о	н/о	н/о	13,98

Вміст у зазначених пробах свіжого пилу, лежачого пилу та котуни наступних елементів: Hg, Ni, Sn, Co, Mo, W, V мікро рентгеноспектральним аналізом не виявлено

Отримані дані рентгеноспектрального аналізу зразків пилу з поверхні відвалу (проби №1-5), по висоті відвалу (проби №6-7), свіжого пилу електрофільтрів ДСП та котуни показують, що значних коливань у їх складі не виявлено. Особливо відзначимо, що присутності таких елементів, як кадмій, шестивалентний хром і свинець, які класифікується в США як небезпечні відходи, у значних кількостях у складі пилу ДСП не виявлено. Так, As, Cd, Ti та Na були виявлені лише у 2-3 пробах пилу.

В окатишах присутній хлор і натрій у значних порівняно з іншими пробами кількостях та у порівняннях між собою концентраціях – на рівні ~13%. Є відомості [7], що пилі також містять значні обсяги хлоридів, хоча автори не вказують, чи виконувався цей аналіз на свіжому пилу або на лежачому. Відмінним у порівнянні з іншими пробами пилу є те, що у складі котуни концентрація цинку в 2 рази менше, ніж в інших пробах пилу.

У всіх досліджених пробах виявлено підвищений вміст у порівнянні з іншими елементами заліза і цинку, в деяких пробах кальцію. Можна припустити, що можлива взаємодія між оксидами з утворенням ZnFe_2O_4 , ZnO , CaO , Fe_3O_4 , для чого необхідно виконати дослідження порошків методами рентгенівської дифрактометрії. Слід зазначити, що в процесі зберігання та вилежування у відвалах не виключено взаємодію між собою окремих фаз пилу при тривалому спільному знаходженні під дією факторів навколишнього середовища, у тому числі вплив вологи та теплоти, що зажадало проведення додаткових досліджень.

Насамперед викликала інтерес поведінка проб пилу у водних середовищах для оцінки їх водорозчинності та можливого забруднення ґрунту. Для цього проби пилу витримували певній кількості дистилату подвійної перегонки при 25°C і нагріванні до 60°C протягом 4 годин. Зміни кислотності розчинів у такому експерименті не виявлено.

Висновки. Виконано мікрорентгеноспектральне визначення елементного складу проб пилу ВАТ «ММЗ» та показано відмінність у вмісті компонентів у досліджуваних пробах та в межах однієї проби при вибраних точках контролю на поверхні проби.

Виходячи з отриманих результатів хімічного аналізу проб пилу електрофільтрів їх якісний склад і вміст токсичних важких металів, в цілому (за середнім значенням з 10 визначень) відповідають даним технічних умов підприємства на цей вид відходів, перевищення отримано за вмістом цинку у всіх розглянутих залізовмісних відходах. Відмінною властивістю присутніх у відходах важких металів є їхня вкрай незначна рухливість у буферних середовищах та практична нерозчинність у воді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pyrometallurgical recycling of electric arc furnace dust. Xiaolong Lin, Zhiwei Peng, Yan Jiaying, L. Zhizhong, Jiann-Yang Hwang, Yuanbo Zhang, Guanghui Li. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.128>. ID: 99077452. Journal of Cleaner Production. Volume 149, 15 April 2017, Pages 1079-1100.

2. The Enviropilas process for the treatment of steel-plant dusts. E. C. Schoukens, Shaw, F. Chemaly. Published 1993. Materials Science. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. vol.93, no1, pp.1-7.
3. Методические указания для органов и учреждений санитарно-эпидемиологической службы по контролю за реализацией мероприятий, направленных на санитарную охрану окружающей среды от загрязнения твердыми и жидкими токсичными отходами промышленных предприятий» от 12.07.1985 года № 3912-85.
4. Симонова В.И. Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. – Новосибирск: Наука, 1986.
5. ДСанПіН 2.2.7.029-99 Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та ви-значення їх класу небезпеки для здоров'я населення. <http://normativ.ua/types/tdoc3041.php>
6. Беляевская Т.А. Сборник методик по титрометрическому анализу. Под ред. Акад. И.П.Алимарина. М., 1972. (МГУ, ЛФОР).
7. Fekete, F., Lázár, K., Keszler, A.M. et al. Recycling the industrial waste ZnFe₂O₄ from hot-dip galvanization sludge. J Therm Anal Calorim 134, 1863–1872 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7849-8>

REFERENCES

1. Pyrometallurgical recycling of electric arc furnace dust. Xiaolong Lin, Zhiwei Peng, Yan Jiaying, L. Zhizhong, Jiann-Yang Hwang, Yuanbo Zhang, Guanghui Li. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.128>. ID: 99077452. Journal of Cleaner Production. Volume 149, 15 April 2017, Pages 1079-1100.
2. The Enviropilas process for the treatment of steel-plant dusts. E. C. Schoukens, Shaw, F. Chemaly. Published 1993. Materials Science. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. vol.93, no1, pp.1-7.
3. Metodicheskiye ukazaniya dlya organov i uchrezhdeniy sanitarno-epidemiologicheskoy sluzhby po kontrolyu za realizatsiyey meropriyatiy, napravlennykh na sanitarnuyu okhranu okruzhayushchey sredy ot zagryazneniya tverdymi i zhidkimi toksichnymi otkhodami promyshlennykh predpriyatiy» ot 12.07.1985 goda № 3912-85.
4. Simonova V.I. Atomno-absorbtsionnyye metody opredeleniya elementov v porodakh i mine-ralakh. – Novosibirsk: Nauka, 1986.
5. DСанПіН 2.2.7.029-99 Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та ви-значення їх класу небезпеки для здоров'я населення. <http://normativ.ua/types/tdoc3041.php>

6. Belyayevskaya T.A. Sbornik metodik po titrometriceskomu analizu. Pod red. Akad. I.P.Alimarina. M., 1972. (MGU, LFOP).
7. Fekete, F., Lázár, K., Keszler, A.M. et al. Recycling the industrial waste $ZnFe_2O_4$ from hot-dip galvanization sludge. J Therm Anal Calorim 134, 1863–1872 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7849-8>

Received 02.04.2022.

Accepted 04.04.2022.

Micro-X-ray spectral determination of the chipboard dust samples elemental composition

The paper determines the composition of dust from electrostatic precipitators of EAF gas cleaners during long-term storage in dumps in order to obtain information on classifying dust as hazardous waste. Determination of the heavy metals content in waste was performed by atomic absorption flame spectrophotometry on an AAS-1N spectrophotometer. The content of the amount total iron and the determination of its various oxidation states was carried out by redox titration with potassium bichromate in an acidic medium. A comprehensive metallographic study of dust samples included macroanalysis (at x16 magnification), microanalysis of the structure of the end section of pellets from fresh dust from EAF electrostatic precipitators using optical microscopy (x 50, x 500). A detailed analysis of the microstructure of the selected samples was carried out using a JSM-6490 scanning electron microscope in the mode of secondary elastically scattered electrons. The X-ray spectral analysis of the selected samples was carried out using energy and wave spectrometers attached to a JSM-6490 scanning electron microscope. Chemical analysis of dust samples showed that there are no significant differences in the content of total iron in the presented dust samples, although there is some decrease in the depth of the dump. A stronger decrease in the transition from the surface of the dump to the depth is noted by the content of Fe_3O_4 . All samples are magnetic, which indicates a significant content of magnetic nitrous oxide-iron oxide in the dust, most likely in an unbound state. The presence of zinc and lead impurities in the melting charge, evaporating at the operating temperatures of the furnace, leads to their oxidation by the air flow, as a result of which they can be in the final dust both in the form of free oxides and in the form of composite structures with iron oxides. It has been established that the results of the chemical analysis of electrostatic precipitator dust samples, their qualitative composition and the content of toxic heavy metals, in general (according to the average value of 10 determinations) correspond to the given technical conditions of the enterprise for this type of waste, the excess was obtained in terms of the zinc content in all considered iron-containing wastes. A distinctive feature of heavy metals present in the waste is extremely low mobility in buffer media and practical insolubility in water.

Пройдак Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Камкіна Людмила Володимирівна – доктор технічних наук, професор, декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Мяновська Яна Валеріївна – доктор технічних наук, доцент, кафедра теоретичних основ металургійних процесів, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Projdak Yuri - doctor of technical sciences, professor, vice-rector for scientific work, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

Kamkina Lyudmila - doctor of technical sciences, professor, dean of the faculty of metallurgical processes and chemical technologies, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

Mianovska Yana - doctor of technical sciences, assistant professor, department of theoretical foundations of metallurgical processes, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

К.Ю. Островська, А.І. Гуда, К.В. Романюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ UX / UI ДИЗАЙНУ ІНТЕРНЕТ - ПЛАТФОРМИ

Анотація. Робота присвячена проектуванню інтерфейсу за допомогою розробленої методики. У роботі розглянуті питання щодо розробки методики для покращення якості розробки інтернет-магазинів та прискорення цього процесу.

Метою роботи було дослідження і розробка методики проектування UX / UI дизайну інтернет-платформи.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі основні завдання:

- аналіз обраної предметної області;*
- аналіз сучасних підходів до проектування інтерфейсів;*
- вибір технологій і програм для відмальовки та прототипування;*
- розробка методики та проектування за допомогою Figma;*
- проведення експериментальної оцінки ефективності методики.*

Практична значимість даної роботи полягала у використанні результатів роботи в практичній діяльності певної веб-студії.

Розробка методики пройшла без технологічних збоїв.

Ключові слова: інтернет-платформа, UI/UX, інтерфейс, методики проектування.

У сучасному цифровому світі бізнесу необхідно бути в Інтернеті для успішної діяльності та мати свій сайт. І від правильно побудованого сайту залежатимуть рівень прибутковості даного бізнесу.

Об'єктом дослідження є взаємодія відвідувачів та потенційних клієнтів з інтернет-платформою.

Предметом дослідження є ключові структурні елементи (їх структура і зовнішній вигляд), що забезпечують хороший користувацький досвід і впливають на коефіцієнт конверсій при взаємодії з інтернет-платформою.

Метою даної роботи було дослідити і розробити методику проектування дизайну для інтернет-магазину. У процесі було проаналізовано предметну область і сучасні підходи до проектування інтерфейсів, обрано технології і програми для проектування сайту, розроблена методика проектування та проведено експериментальні оцінки ефективності методики.

Для успішної діяльності бізнесу йому необхідно бути в Інтернеті. І одним із інструментів є сайт. Залежно від правильно спроектованого сайту залежатиме рівень конверсії сайту.

Дизайн сайту для відвідувача має бути зрозумілим, зручним та приємним. Контент найважливіша частина, але конверсія сайту з хорошим контентом може бути низькою через погану продуманість дизайну.

Проектування дизайну сайту включає велику аналітику і логіку, яка дозволяє зробити більш зручний і цільовий сайт. Але також не потрібно забувати і про візуал сайту. UI та UX важливі при створенні конверсійного дизайну.

Інтернет платформа – це будь-яка платформа в інтернеті, що призначена для взаємодії між людьми, здійснення інтернет-покупок, транзакцій або будь-якої іншої цільової дії за допомогою інтернету.

UI Design перекладається як «призначений для користувача інтерфейс». Інтерфейс являє собою графічну структуру програми. Він складається з кнопок, текстів, і всіх інших елементів, з якими взаємодіє користувач.

UX перекладається як «користувацький досвід». Призначений для користувача досвід визначається тим, як користувачі взаємодіють з додатком/сервісом, наскільки легко чи складно взаємодіяти з елементами інтерфейсу.

UX дослідження – це дослідження, що допомагають краще розуміти завдання і проблеми користувачів - розробляти і розвивати продукти на основі реальних потреб аудиторії, а крім того - знаходити неочевидні проблеми і впливати на продукт, ґрунтуючись на фактах, а не припущеннях.

У загальному випадку, розробка інтерфейсу інтернет-платформи проходить цикл з 7ми послідовних етапів (рисунок 1).



Рисунок 1 - Етапи розробки інтерфейсів

Види UX досліджень можна розділити на дві категорії: кількісні і якісні (рисунок 2).

Кількісним дослідженням є будь-яке дослідження, яке може бути виміряне чисельно.

Якісне дослідження допомагає нам зрозуміти, чому люди роблять те, що вони роблять, і часто приймає форму інтерв'ю або бесіди.



Рисунок 2 - Види UX досліджень

На сьогоднішній день існує більше 20 методів UX досліджень.

Найпопулярніші з них це:

- Інтерв'ю.

Особиста бесіда з людьми, які мають досвід роботи з продуктом що проектується.

- Залучення до проектування.

Користувачам пропонують самостійно скласти структуру інтерфейсу на папері або магнітній дошці. Знаючи призначення продукту, вони намагаються представити його в максимально зручному для себе вигляді.

- Айтрекінг або окулографія.

Це технологія, яка дозволяє фіксувати рух погляду людини. Напрямок погляду визначається безконтактно по співвідношенню центру зіниці і відображення в ро́гівці інфрачервоного підсвічування, вбудованої в айтрекер. Це співвідношення змінюється при зміні напрямку погляду, але залишається стабільним при переміщенні голови. Для настройки під кожного респондента перед тестом проводиться нескладне калібрування. Респондента просять подивитися по черзі на кілька точок. Це дозволяє айтрекеру співвідносити під час дослідження напрямок погляду з конкретною точкою на досліджуваному об'єкті.

- А / В тестування.

Це кращий спосіб спробувати різні дизайни і розташування елементів сайту. А/В тест покаже, які знайшли більший відгук у користувачів.

Також існує технологія, яку Джесс Гаррет у своїй книзі «Веб-дизайн. Елементи досвіду взаємодії» представляє у вигляді 5 рівнів (рисунок 3).

- Рівень стратегії. Де отримуються відповіді щодо очікувань від готового продукту.
- Рівень набору можливостей. В цей рівень включено перерахування наявного арсеналу можливостей, які доступні користувачам.
- Рівень структури. В ньому буде прописуватися розташування всіх елементів web-сайту: сторінок, вікон, кнопок, форм і так далі.
- Рівень компоновки. В його рамках слід вирішувати питання щодо найефективнішого розташування наявних елементів інтерфейсу.
- Рівень поверхні. На цьому рівні тестується клікабельний макет сайту, знаходяться та виправляються недоліки.



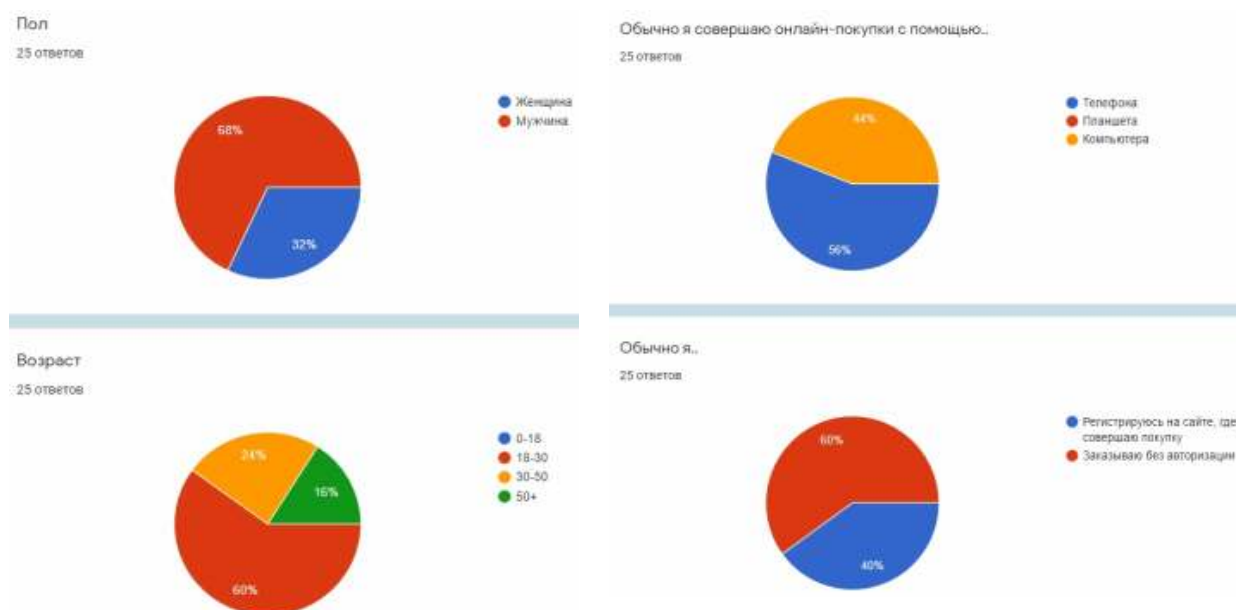
Рисунок 3 - Технологія Джесса Гарета

Зазвичай, кожна веб-студія обирає методології якими звикли користуватися співробітники та що вписуються у бюджет компанії. Але це не завжди допомагає отримати потрібні результати дослідження і якісний результат у підсумку.

Проаналізувавши існуючі методи UX досліджень було відібрано ті, що частіше за інші використовуються на практиці, що приносять найбільший результат та потребують менших грошових витрат. Моя методика розробки інтерфейсу спирається на принципи п'яти рівнів сформульованих Джессом Гаретом, та включає в себе деякі методи UX досліджень, що існують на сьогоднішній день. Цей підхід дозволить мінімізувати помилки в розробці і ефективно поетапно спроектувати сайт.

Перший етап методики - Дослідження користувачів.

На цьому етапі проводиться опитування та розробка типових персон – користувачів сайту. Для отримання даних від потенційних користувачів було складене онлайн-опитування. Участь у ньому взяли 25 респондентів різних вікових категорій, з різних сфер діяльності. Опитування включало у себе такі питання як стать, вік, як часто опитувана людина робить покупки онлайн, з якого девайсу, чи реєструється на сайті (рисунок 4).



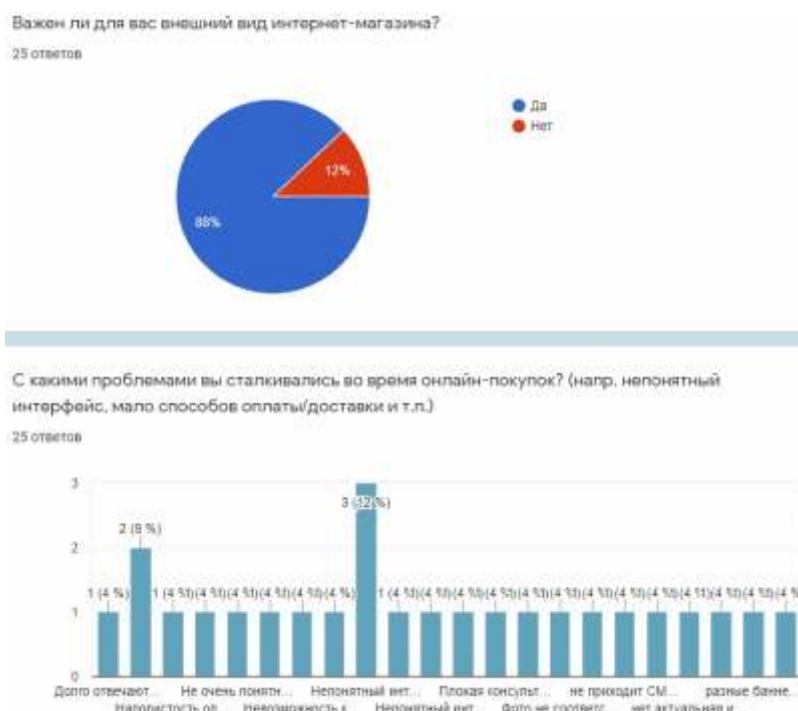


Рисунок 4 - Дослідження користувачів

На базі отриманих результатів опитування складені загальні портрети персон. Персона - це опис вигаданого користувача продукту з сумою його основних потреб, характеристик і цілей. Фокус на окрему людину або невеликий сегмент аудиторії підвищує емпатію до користувачів, для яких проектується дизайн. Всі ми - люди, і нас більше захоплюють конкретні приклади, а не абстракції і узагальнення. Це допомагає зосередитися на створенні продукту, який дійсно буде вирішувати проблеми людей.

Другий етап - Опис обов'язкових можливостей інтерфейсу. Складання алгоритму типової взаємодії користувача з платформою (користувальницький сценарій), карти сайту з усіма необхідними сторінками, підбір шрифтів та кольорів.

Третій етап - Дизайн інтерфейсу. На цьому етапі були спроектовані всі базові сторінки сайту. Для прискорення і полегшення проектування інтерфейсу я використовувала принципи атомарного дизайну. Атомарний дизайн - методологія поділу будь-якого інтерфейсу на компоненти, мінімальні складові одиниці, кожна зі своєю конкретною функцією. Саме ці одиниці потім збираються у функціонуючі системи, що особливо зручно при створенні такого великого інтерфейсу як інтернет-магазин.

Атоми - мінімальні базові складові інтерфейсу: кнопки, значки, іконки, веб-форми, поля введення. Молекули - прості компоненти, зібрані з атомів: форма пошуку, рядки введення і поля пошуку. Організми - незалежні і відносно складні за структурою ділянки інтерфейсу : шапка сайту, що складається з логотипу, форми пошуку, пунктів меню. Шаблони - макети сторінок з базовою структурою контенту як буде виглядати сайт після запуску. Сторінки - шаблони, наповнені справжнім контентом, готові до застосування.

У результаті були спроектовані всі основні сторінки, яких потребує інтернет-магазин : головна, каталог, картка товару і його замовлення, сторінка 404 помилки. Також була зроблена адаптивна версія під мобільні пристрої.

Після закінчення дизайну інтернет-магазину відбулось протипування всіх сторінок. Часто потрібно продемонструвати робочу модель замовнику або команді. Для цих цілей підходить прототип сайту в сервісі Figma (рисунок 5).

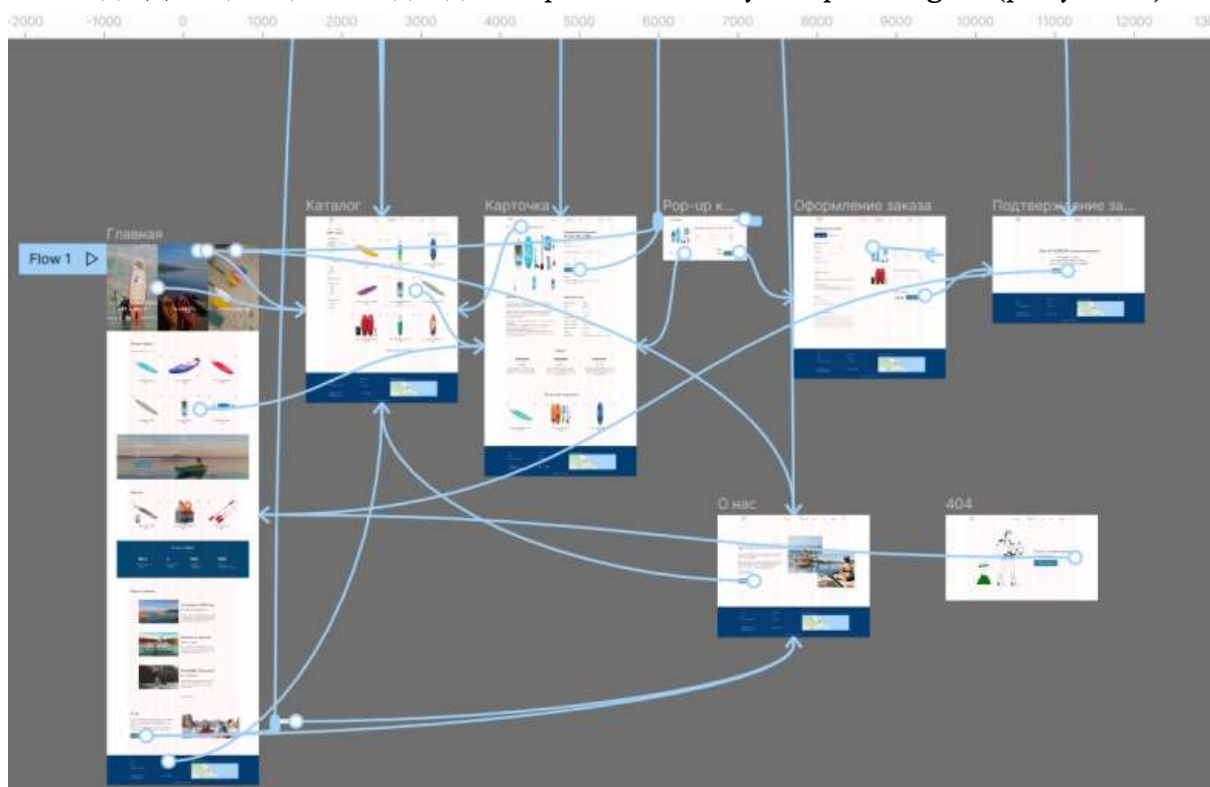


Рисунок 5 - Прототипування інтерфейсу

Четвертий етап. Після того, як інтерфейс повністю сконструйований, необхідно провести його тестування. Це допоможе уникнути багатьох помилок до етапу написання коду. Одним з методів, що дають об'єктивні результати подібних досліджень, є технологія айтрекінг, основною перевагою якої є неупередженість випробовуваних респондентів, оскільки в даній технології об-

ладнання фіксує природні реакції людини шляхом дослідження руху і реакції зіниці, які неможливо імітувати. За допомогою цього методу було перевірено інтерфейс сторінки товару на наявність так званих сліпих зон (рисунок 6). Для проведення дослідження було зареєстровано безкоштовний пробний акаунт у програмі Real Eye. Проаналізувавши отримані результати, можна затвердити, що респондент звертає увагу на всі важливі елементи сторінки. На схематичному зображенні видно, що людина багато уваги приділяє фотографіям, назві товару та кнопці «Купити». Також у поле зору попадає корзина, акаунт та опис товару.



Рисунок 6 - Айттрекінг. Тестування інтерфейсу

Також було проведено А/В тестування у місцях, які виявились спірними. Наприклад найважливіша частина сайту – головний екран. Після відмальовки декількох версій вони віддаються користувачам. Люди використовують додаток або відвідують веб-сайт, а після – проходять невелике опитування з метою обрати кращий варіант. Провівши опитування, респонденти обрали В - версію головної сторінки (рисунок 7).

Варіант 1



Який із двох варіантів сторінки вам навіться більше?
23 оцінки



Почітуйте, чи вам цілкове діяство в варіанті А?
23 оцінки



Варіант 2



Почітуйте, чи вам цілкове діяство в варіанті В?
23 оцінки



Рисунок 7 - Тестування інтерфейсу. А/В тест

Після створення прототипу інтерфейсу було проведено оцінку ефективності створеної методики, за допомогою якої було створено два варіанти дизайну інтерфейсу. Оцінка проводилася за допомогою метода ранжування (рисунок 8 та 9).

Варіанти інтерфейсів	Експерти					Строкова сума	Відхилення від середньої оцінки	Квадрат відхилення
	1	2	3	4	5			
1	1	1	2	1	1	6	0.5	0.25
2	2	2	1	2	2	9	1.5	2.25
Загальна сума						15	Сума квадратів відхилень S	2.5
Середня оцінка						7.5		

Рисунок 8 - Результати ранжування варіантів дизайну інтерфейсу за критерієм інтуїтивності

Варіанти інтерфейсів	Експерти					Строкова сума	Відхилення від середньої оцінки	Квадрат відхилення
	1	2	3	4	5			
1	1	2	2	1	2	8	1.5	2.25
2	2	1	1	2	1	7	0.5	0.25
Загальна сума						15	Сума квадратів відхилень S	2.5
Середня оцінка						7.5		

Рисунок 9 - Результати ранжування варіантів дизайну інтерфейсу за критерієм зрозумілості для користувача іконки та читабельності шрифту

Експертна оцінка – це метод, при якому один або кілька експертів діють в якості користувачів і тестують інтерфейс, щоб визначити перешкоди для зручності використання. Варіанти дизайну інтерфейсів було порівняно на підставі певних критеріїв: інтуїтивність, функціональність, зрозумілість для користувача іконки та читабельність шрифту. Ця система являє собою порівняльний метод оцінки ефективності. Експертам було продемонстровано два варіанти дизайну сайту, та за допомогою отриманих трьох критеріїв вони поставили ранги для інтерфейсів. Після цього було проведено розрахунок ступеня узгодженості думки п'яти експертів щодо переваг двох варіантів дизайну інтерфейсу, використовуючи коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)} = \frac{12 \cdot 72}{5^2(3^3 - 3)} = 0,44$$

де m – кількість альтернатив;

n – кількість експертів;

S – сума квадратів відхилень всіх оцінок рангів кожного об'єкта експертизи від середнього значення.

Коефіцієнт конкордації характеризує ступінь погодженості суджень дослідників по всім напрямкам) Коефіцієнт конкордації приймає значення від 0 до 1. Чим більше значення коефіцієнта конкордації, тим вище ступінь узгодженості думок експертів. Знайдене значення коефіцієнта конкордації, каже про достатній ступінь узгодженості думок експертів за всіма критеріями (рисунок 10).

Критерії порівняння інтерфейсів	Експерти					Строкова сума	Відхилення від середньої оцінки	Квадрат відхилення
	1	2	3	4	5			
Інтуїтивність	2	1	1	1	3	8	2	4
Функціональність	1	2	2	2	1	8	2	4
Зрозумілі для користувача іконки і шрифт	3	3	3	3	2	14	8	64
Загальна сума						30	Сума квадратів відхилень S	72
Середня оцінка						6		

Рисунок 10 - Результати ранжування критеріїв

Також був використаний метод аналізу мереж за допомогою програми NooTron.

Він дозволяє об'єднувати кількісні, статистичні дані з експертними оцінками і тим самим створювати більш адекватні моделі складних проблем, наприклад – для прогнозування та діагностики. Цей підхід дозволяє об'єднати дані статистики з експертними оцінками індивідуальних особливостей цієї проблеми (рисунок 11).

Алгоритм методу аналізу мереж включає такі основні етапи:

Подання структури проблеми у вигляді графа. Побудова суперматриці. Зважування суперматриці. Отримання результату – граничної суперматриці.

Результат розв'язання задачі методом аналізу мереж представлений у вигляді таблиці «Вихідна суперматриця», де по блоках вказані всі знайдені локальні пріоритети та таблиці «Гранична суперматриця». А також діаграми глобальних пріоритетів альтернатив. Альтернатива з найбільшим значенням глобального пріоритету є найкращою для цієї мети (рисунок 12).

В результаті експериментальної оцінки за допомогою двох перелічених методів респонденти в обох випадках обрали інтерфейс В.

Метод Анализа Сетей

ШАГ 1.

По отношению к каждому Критерию в шкале Саати или в шкале парных сравнений.

2.1 По отношению к критерию "Иконки шрифт", используя:

☒ Шкалу Саати {1/2; 1/3; ...; 1/9; 1; 2; ...; 9;}
 ☐ Шкалу отношений (Шк.Отн.)

Чем больше, тем лучше

Название	A1	A2	ЛПр.
A1 Интерфейс №1	1	1/2	0.333
A2 Интерфейс №2	2	1	0.667

Dim	Lam	CI	CR
2.000	2.000	0.000	0.000

Вычислить

Метод Анализа Сетей

ШАГ 2.

По отношению к каждому Критерию в шкале Саати или в шкале парных сравнений.

2.1 По отношению к критерию "Интуитивность", используя:

☒ Шкалу Саати {1/2; 1/3; ...; 1/9; 1; 2; ...; 9;}
 ☐ Шкалу отношений (Шк.Отн.)

Чем больше, тем лучше

Название	A1	A2	ЛПр.
A1 Интерфейс №1	1	1/2	0.333
A2 Интерфейс №2	2	1	0.667

Dim	Lam	CI	CR
2.000	2.000	0.000	0.000

Вычислить

Метод Анализа Сетей

ШАГ 2.

По отношению к каждому Критерию в шкале Саати или в шкале парных сравнений.

2.2 По отношению к критерию "Функциональность", используя:

☒ Шкалу Саати {1/2; 1/3; ...; 1/9; 1; 2; ...; 9;}
 ☐ Шкалу отношений (Шк.Отн.)

Чем больше, тем лучше

Название	A1	A2	ЛПр.
A1 Интерфейс №1	1	1	0.500
A2 Интерфейс №2	1	1	0.500

Dim	Lam	CI	CR
2.000	2.000	0.000	0.000

Вычислить

Метод Анализа Сетей

ШАГ 3.

Заполните матрицу парных сравнений Критериев относительно Цели с помощью:

☒ Шкалы Саати {1/2; 1/3; ...; 1/9; 1; 2; ...; 9;}
 ☐ Шкалу отношений (Шк.Отн.)

Чем больше, тем лучше

Цели: Выбор лучшего интерфейса

Название	Kp1	Kp2	Kp3	ЛПр.
Kp1 Интуитивность	1	2	1	0.476
Kp2 Функциональность	1/2	1	2	0.327
Kp3 Иконки шрифт	1	1/2	1	0.200

Dim	Lam	CI	CR
3.000	3.217	0.100	0.107

Вычислить

Рисунок 11 - Экспериментальная оценка эффективности методики

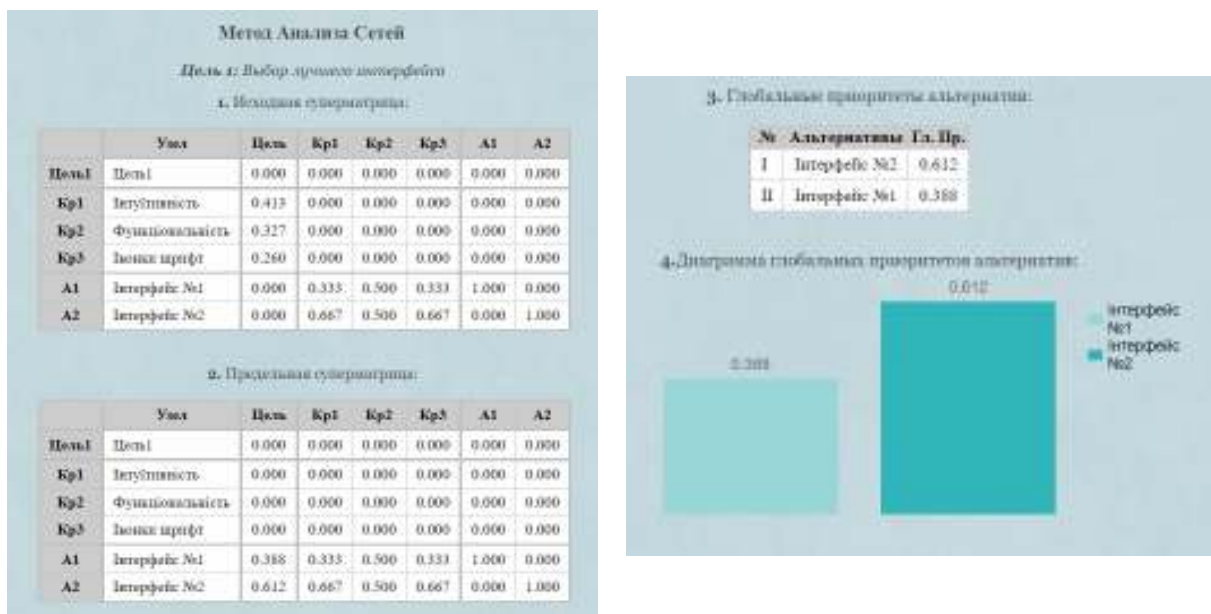


Рисунок 12 - Экспериментальная оценка эффективности методики

Висновки. В результаті було проведено дослідження процесу проектування інтерфейсу користувача інтернет- платформи.

Розроблено методику проектування інтерфейсу інтернет-магазину, яка допомагає розробляти продукт з високою якістю. Для оцінки ефективності створеної методики був використаний метод ранжування та метод аналізу мереж. В результаті експериментального дослідження запропонованої методики були знайдені значення коефіцієнта конкордації, які кажуть про достатній ступінь узгодженості думок. Також виходячи з отриманих результатів методом аналізу мереж, можна зробити висновок, що другий варіанти дизайну є найбільш переважним (глобальний пріоритет = 0,612).

Було розглянуто основні підходи до проектування інтерфейсів користувача, проведено дослідження існуючих методів UX-досліджень та застосовано найпопулярніші з них.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джесс Гарретт, Веб-дизайн: Элементы опыта взаимодействия / Джесс Гарретт.: -2008. – 186 с.
2. Нильсен Я. Веб-дизайн: книга Якоба Нильсена. – Пер. с англ. – СПб.: СимволПлюс, 2007. – 512 с.: цв. ил.
3. Демська А.І. Шляхи підвищення якості web-сайту як технологічного базису бізнес-процесів // Радіоелектроніка та молодь в ХХІ столітті: матеріали 23-го міжнародного молодіжного форуму (Харків, 14-18 квітня 2019 р.). Т.6. С. 271-272.
4. Фазылзянова Г. И., Балалов В. В. Применение метода айтрекинга для оценки качества графической и мультимедийной продукции // Наука и мир. 2014. Т. 3. №. 3. С. 172-179.
5. Островська К.Ю., Романюк К.В. Методика проектування UX / UI дизайну Інтернет – платформи // Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: Тези XV Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 16-17 грудня 2021 р.). – Д.: ДІІТ, 2021. – С. 103.

REFERENCES

1. Jess Garrett, Web Design: Elements of the Interaction Experience / Jess Garrett .: - 2008. - 186 p.
 2. Nielsen J. Web design: a book by Jacob Nielsen. - Per. with English - СПб.: СимволПлюс, 2007. - 512 с .: цв. ill.
 3. Demskaya A.I. Ways to improve the quality of the web-site as a technological basis of business processes // Radio Electronics and Youth in the XXI Century: Proceed-
- ISSN 1562-9945 (Print) 205
ISSN 2707-7977 (Online)

ings of the 23rd International Youth Forum (Kharkiv, April 14-18, 2019). Vol.6. Pp. 271-272.

4. Fazylzyanova G.I., Balalov V.V. Application of the method of aitreking for assessing the quality of graphic and multimedia products // Science and the world. 2014. T. 3. №. 3. pp. 172-179.

5. Ostrovskaya K.Y., Romanyuk K.V. Methods of designing UX / UI design Internet platforms // Modern information and communication technologies in transport, industry and education: Abstracts of the XV International Scientific and Practical Conference (Dnipro, December 16-17, 2021). - D .: DIIT, 2021. - P. 103.

Received 02.04.2022.

Accepted 04.04.2022.

Research and development of the method design UX / UI design internet - platforms

The work is devoted to interface design using the developed methodology. The paper considers the issues of developing a methodology to improve the quality of development of online stores and speed up this process.

The purpose of the work was to research and develop a methodology for designing UX / UI design of an Internet platform.

As a result of the work, a study was made of the design process of the user interface of the Internet platform.

A methodology for designing the interface of an online store has been developed, which helps to develop a product with high quality.

The main approaches to designing user interfaces were considered, studies of existing UX research methods were carried out and the most popular of them were applied.

A methodology for designing the interface of an online store was developed. To evaluate the effectiveness of the created methodology, the ranking method and the network analysis method were used. As a result of an experimental study of the proposed methodology, the values of the concordance coefficient were found, which indicate a sufficient degree of agreement of opinions. Also, based on the results obtained by the network analysis method, it can be concluded that the second design option is the most preferable (global priority = 0.612). An economic justification for the feasibility of this work has been carried out.

Островська Катерина Юріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Гуда Антон Ігорович – д.т.н., доцент, професор кафедри інформаційних технологій та систем, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Романюк Катерина Валеріївна - магістр кафедри інформаційних технологій та систем, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Ostrovskaya Ekaterina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Guda Anton - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technologies and Systems, Institute of Industrial and Business Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology.

Romanyuk Kateryna - Master of Information Technologies and Systems Department, Institute of Industrial and Business Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology.

ЗМІСТ

CONTENTS

Ахметшина Л.Г., Мітрофанов С.К., Книш О.В. Передобробка рентгенограми для підвищення чутливості візуального аналізу	3	Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Knysh A.V. Pre-processing of the x-ray to in- crease the sensitivity of visual analysis	3
Биткін С.В., Критська Т.В. Моделювання ефективності за- стосування SiGe для виготовлен- ня високовольтних тиристорів	13	Bytkin S.V., Krytskaja T.V. Simulation of the SiGe use effi- ciency for the production of high- voltage thyristors	13
Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Власов А.О., Федоренко С.В. Синявський Д.А., Цегельний Є.С. Використання методу «мінімального ризику» в технічній діагностиці металургійного обладнання	24	Hrechanyi O., Vasilchenko T., Vlasov A., Fedorenko S., Syniavskyi D., Tsehelnyi Y. Using the "minimum risk" method in the technical diagnosis of metallurgical equipment	24
Зіборов І.К., Желдак Т.А. Розробка інтелектуальної систем підтримки прийняття рішень з самонавчанням для керування технологічними процесами виробництва сталі	35	Ziborov I.K., Zheldak T.A. Development of self-learning intelligent decision support system to control of steel production technological processes	35
Кавац О.О., Храмов Д.О., Сергєєва К.Л., Васильєв В.В. Відкриті супутникові дані для глобального моніторингу парникових газів	47	Kavats O.O., Khramov D.A., Sergieieva K.L., Vasyliiev V.V. Open Satellite Data for Global Greenhouse Gas Monitoring	47
Карпенко С.Л. , Рудакова Г.В. Математична модель закритої зрошувальної системи як об'єкту керування	60	Karpenko S.L., Rudakova H.V. Mathematical model of closed irrigation system as an object of control	60

Матвєєва Н.О. Особливості викладання дисципліни «Програмні засоби створення серверних веб- додатків» ідентифікації культур- них цінностей	71	Matveeva N.O. Features of teaching the course of study "Software tools for creating server web applications"	71
Пахомова В.М., Видиш А.Д. Дослідження комбінованого варіанту визначення атак з використанням нейромережних технологій	79	Pakhomova V.N., Vydish A.D. Study of the combined variant of determination of attacks using neural network technologies	79
Селівьорстов В.Ю., Селівьорстова Т.В., Зеленський К.А., Іванова Л.Х. Розрахунок розмірів надливної частини злитків із сталей 40ХЛ та Х12МЛ при застосуванні газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву	87	Selivorstov V., Selivorstova T., Zelenskyi K., Ivanova L. Calculation of the sizes of the overflow part of ingots from steels 40ХЛ and Х12МЛ at application of gas-dynamic influence and electroslag heating	87
Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Клименко І.В., Шаповал Д.О. Моделі та процедури класифікації і прогнозування недетермінованих процесів за показниками хаотичної динаміки	104	Skalozub V.V., Horiachkin V.M., Klimenko I.V., Shapoval D.O. Models and procedures for classification and forecasting of nondeterministic processes according to chaotic dynamics parameters	104
Узлова М.Ю., Журба А.О., Журавлев В.М., Ларіонов Г.І. Розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу в системі OpenSCAD	124	Uzlova M.Y., Zhurba A.A., Zhuravlev V.M., Larionov H.I. Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system	124
Царик В.Ю., Гнатушенко Вікт.В. Дослідження методів виділення графічних об'єктів на вебсайтах для оцінки якості інтерфейсу	143	Tsaryk V.Yu., Hnatushenko V.V. Research of methods of distribution of graphic objects on websites for assessment of interface quality	143
ISSN 1562-9945 (Print) ISSN 2707-7977 (Online)			209

Морозов О.С. Визначення параметрів функцій Гауса індивідуальних смуг спектра фотолюмінесценції методом розкладання за власними формами	156	Morozov A.S. Method of own forms for determination of separate bands	156
Ігнаткін В.У., Горбійчук М.І., Дудніков В.С., Юшкевич О.П., Болонний В.Т., Тіхонов В.А. Автоматизована система регулювання теплових параметрів печей термічної обробки корда з оптимізацією співвідношення «газ-повітря» за визначеним значенням	163	Ignatkin V.U., Gorbiychuk M.I., Dudnikov V.C., Yushkevich O.P., Bolonny V.T., Tikhonov V.A. Automated system for regulating the thermal parameters of cord heat treatment furnaces with optimization of the gas-to-air ratio at a certain value	163
Пройдак Ю.С., Камкіна Л.В., Мянєвська Я.В. Мікрорентгеноспектральне визначення елементного складу проб пилу ДСП	181	Projdak Y., Kamkina L., Mianovska Y. Micro-X-ray spectral determination of the chipboard dust samples elemental composition	181
Островська К.Ю., Гуда А.І., Романюк К.В. Дослідження та розробка методики проектування UX / UI дизайну інтернет - платформи	193	Ostrovskaya K.Yu., Guda A.I., Romanyuk K.V. Research and development of the method design UX / UI design internet – platforms	193

РЕФЕРАТИ

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Мітрофанов С.К., Книш О.В. **Передобробка рентгенограми для підвищення чутливості візуального аналізу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.3 – 12.

Представлені інформаційні можливості методу обробки напівтонових зображень, який заснований на процесі багатоетапної обробки, що включає просторові методи гістограмної еквалізації, нечітку інтенсифікацію, поліпшення в частотній області. Показано, що застосування запропонованої технології за рахунок підвищення контрастності та роздільної здатності, дозволяє значно покращити достовірність візуального аналізу. Наведено експериментальні результати на прикладі реальних знімків рентгенограми.

Бібл. 8, іл. 2.

УДК: 621.3.049.77+539.12.04

Биткін С.В., Критська Т.В. **Моделювання ефективності застосування SiGe для виготовлення високовольтних тиристорів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.13 – 23.

Для підвищення радіаційної стійкості силових напівпровідникових приладів до атмосферних нейтронів запропоновано застосування легованого германієм (Ge) монокристалічного кремнію (CZ-<Ge>). Проведено моделювання експериментальних даних щодо силових тиристорів високовольтного класу типу T122, виготовлених за ідентичною технологією з застосуванням CZ-Si і CZ-<Si,Ge>. Отримані результати для обґрунтованого вибору концентрації Ge. Показано, що при введенні в технологію цих приладів SiGe спостерігається немонотонна зміна частки тиристорів з величиною імпульсної напруги, що повторюється, в закритому стані при 1000, 1100 і 1200 В. Концентрація Ge, придатна для виготовлення високовольтних тиристорів, перебуває у інтервалі $2 \cdot 10^{19}$ - $1 \cdot 10^{20}$ см⁻³. Запропоновано виготовлення партії тиристорів та проведення їх радіаційних випробувань.

Бібл. 14, іл. 3.

УДК 621.77.08

Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Власов А.О., Федоренко С.В. Синявський Д.А., Цегельний Є.С. **Використання методу «мінімального ризику» в технічній діагностиці металургійного обладнання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.24 – 34.

Вказано переваги систем змащування «масло-повітря». Проаналізовано методи теорії розпізнавання для визначення граничного значення залізовмісних присадок у робочій рідині системи змащення. Наведено приклад практичного застосування використання методу «мінімального ризику» для визначення допустимого вмісту залізої стружки в робочій рідині системи змащення «масло-повітря».

Бібл. 15, іл. 2, табл. 0.

УДК 004.896 : 621.745

Зіборов І.К., Желдак Т.А. **Розробка інтелектуальної систем підтримки прийняття рішень з самонавчанням для керування технологічними процесами виробництва сталі** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). - Дніпро, 2022. - С.35 – 46.

В роботі запропоновано принцип інтегрування система підтримки прийняття рішень у металургійне виробництво з мінімальним втручанням у процес, що полягає у прогнозуванні перебігу процесу з видачею рекомендації щодо впливу на нього задля оптимізації зовнішнього критерію ефективності. Виходячи із запропонованої структури програмного забезпечення, сформульовані ряд задач, які необхідно виконати для побудови системи підтримки прийняття рішень. Також запропоновано використання математичного апарату нечітких множин для опису окремих параметрів технологічного процесу та критеріїв якості, нечіткої нейронної мережі для моделювання процесів міркувань та вибір алгоритму її навчання.

Бібл. 12, іл. 2.

УДК 528.88:551.510.4

Кавац О.О., Храмов Д.О., Сергєєва К.Л., Васильєв В.В. **Відкриті супутникові дані для глобального моніторингу парникових газів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). - Дніпро, 2022. - С.47 – 59.

Розглянуто відкриті супутникові дані про концентрацію основних парникових газів (CO₂, CH₄, N₂O). Дані надаються супутниковими інструментами Sentinel-5P TROPOMI, Metop-A/B/C IASI, GOSAT TANSO-FTS, GOSAT-2 TANSO-FTS-2, Aqua AIRS, Suomi NPP/JPSS CrIS, OCO-2 та OCO -3. Мета досліджень полягає в описі можливостей супутникових інструментів для вирішення задач моніторингу концентрації парникових газів на місцевому, регіональному та глобальному рівнях. Розглянуті комбіновані дані, що поєднують результати супутникових та наземних вимірювань.

Бібл. 17, іл. 5, табл. 2.

УДК 004.942:631.171

Карпенко С.Л., Рудакова Г.В. **Математична модель закритої зрошувальної системи як об'єкту керування** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). - Дніпро, 2022. - С.60 – 70.

Метою дослідження є побудова математичної моделі закритої зрошувальної системи як об'єкту керування, яка дозволить здійснювати аналіз процесів, що протікають в системі, та оцінювати ефективність методів керування, що розробляються. У статті розглянуто схему взаємозв'язків між основними компонентами закритої зрошувальної системи такими як насосний агрегат, розподільний та зрошувальний трубопровід, запірні арматури, дощувальні машини універсальні, система керування з подальшим математичним описом кожного окремого компоненту. Виявлені основні параметри системи які впливають на її роботу. Задані показники якості які висуються до системи керування. Проаналізовано систему як об'єкт керування, виявлені вхідні, вихідні та внутрішні параметри системи.

Бібл. 11, іл. 7.

УДК 004.021; 004.383

Матвєєва Н.О. **Особливості викладання дисципліни «Програмні засоби створення серверних веб-додатків»** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.71 – 78.

У сучасному світі використання веб-додатків постійно зростає, збільшується їх кількість, але постає питання як вони функціонують та як їх створювати. Якраз навчальний курс «Програмні засоби створення серверних web-додатків» покликаний вирішити цю проблему. У статті представлено мету навчальної дисципліни та поетапно описується лекційний матеріал. Засвоєння лекційного матеріалу підкріплюється виконанням лабораторних робіт.

Бібл. 9.

УДК 004.056.53:[004.7:004.032.26]

Пахомова В.М., Видиш А.Д. **Дослідження комбінованого варіанту визначення атак з використанням нейромережних технологій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.79 – 86.

Сучасний світ неможливо уявити без комп'ютерних мереж: як локальних, так і глобальних; тому питання мережевої безпеки стає все більш злободенним. Наразі методики виявлення атак можна підсилити використанням нейронних мереж, що підтверджує актуальність теми. Мета дослідження є порівняльний аналіз параметрів якості визначення мережевих атак з використанням комбінованого варіанту, що складається із різних нейронних мереж. У якості методів дослідження використані: нейронечітка мережа; багат шаровий персептрон; самоорганізуюча карта Кохонена. Програмна реалізація самоорганізуючої карти Кохонена здійснена мовою Python з широким спектром сучасних стандартних засобів, створення багат шарового персептрону та нейронечіткої мережі – за допомогою пакетів Neural Network Toolbox та Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB. На створених нейронних мережах окремо та на їх комбінованому варіанті проведені дослідження параметрів якості визначення мережевих атак. Визначено, що помилка першого роду склала 11 %, 4 %, 10 % і 0 %, помилка другого роду – 7 %, 6 %, 9 % і 6 % на нейронечіткій мережі, багат шаровому персептроні, самоорганізуючої карти Кохонена та їх комбінованому варіанті відповідно, що доказує доцільність використання комбінованого варіанту.

Бібл. 13.

УДК 004.42: 621.746.6.001.2

Селівьорстов В.Ю., Селівьорстова Т.В., Зеленський К.А., Іванова Л.Х. **Розрахунок розмірів надливної частини злитків із сталей 40ХЛ та Х12МЛ при застосуванні газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.87 – 103.

Приведені результати аналітичних досліджень щодо використання методики розрахунку розмірів надливів циліндричних виливків із сталей 40ХЛ та Х12МЛ масою 200 – 16000 кг і діаметром 0,25 – 0,7 м, що твердіють в металевій формі (виливної) при електрошлаковому обігріві розплаву та створенні понадатмосферного газового тиску в надливній частині. Наведені схеми конструкції відповідного пристрою та реалізації технології. Використання конструкції холодильника у вигляді металевого корпусу зі вставкою із вогнетривкого матеріалу, графітовими електродами і вкладишем із флюсу, що працює за принципом плаваючої надливної вставки при реалізації комбінованої технології газодинамічного впливу та електрошлакового обігріву, дозволяє ефективніше використовувати розплав надливної частини вилівка (злитка) для живлення усадки за рахунок підтримання металу в рідкому стані впродовж всього часу затвердіння основної маси вилівка (злитка), тим самим зменшуючи необхідну для живлення усадки кількість розплаву та, відповідно, масу надливу. Це особливо актуально для виробів із сплавів, що містять доревартисні компоненти основи та/або легуючі.

Бібл. 12.

УДК 004.6: 007.5: 004.94

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Клименко І.В., Шаповал Д.О. **Моделі та процедури класифікації і прогнозування недетермінованих процесів за показниками хаотичної динаміки** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.104 – 123.

У статті досліджені процеси класифікації, моделювання та короткострокового прогнозування недетермінованих часових послідовностей, що являються антиперсистентними часовими рядами за класифікацією на основі параметра Херста. Також представлено інструментальне програмне середовище, яке забезпечує коректне дослідження алгоритмів моделювання, класифікацію та короткострокове прогнозування антиперсистентних часових рядів.

Бібл. 14.

УДК 004.92

Узлова М.Ю., Журба А.О., Журавлев В.М., Ларіонов Г.І. **Розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу в системі OpenSCAD** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.124 – 142.

В ході виконання роботи на етапі дослідження були розглянуті питання, присвячені теми 3D-моделювання. При виконанні практичної частини було проведено 3D-моделювання будівлі Українського Державного Університету Науки та Технологій, яке включає в себе наступні етапи: побудова геометричної 3d-моделі об'єкта; рендеринг; по закінченню моделювання - виведення роботи на 3D-принтер. Результат виконання роботи на тему «Розробка параметричної моделі будівлі в системі OpenSCAD» полягає у розробці параметричної моделі будівлі Українського Державного Університету Науки та Технологій за допомогою системи OpenSCAD.

Бібл. 5, іл. 16.

УДК 004.054, 004.932.2

Царик В.Ю., Гнатушенко Вікт.В. **Дослідження методів виділення графічних об'єктів на вебсайтах для оцінки якості інтерфейсу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.143 – 154.

У роботі проведено дослідження та порівняльний аналіз методів обробки цифрових зображень задля автоматизації процесу оцінки якості графічного інтерфейсу користувача. Зроблено висновок, що застосування класичного підходу для сегментації зображення не дало бажаного результату для аналізу зображень веб-сторінок, а саме існують проблеми неможливості розділити графічні об'єкти, що знаходяться поруч, при пороговій бінаризації, і об'єднати текстові символи в один блок. Алгоритм JSEG включає операції кольорового квантування і просторової сегментації, за рахунок чого результат виділення об'єктів краще, проте все одно вимагає подальших налаштувань.

Бібл. 7, іл. 6.

УДК 535.373.2

Морозов О.С. **Визначення параметрів функцій Гауса індивідуальних смуг спектра фотолюмінесценції методом розкладання за власними формами** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.156 – 162.

Розглянуто розкладання на власні форми спектру фотолюмінесценції на 5 смуг, що описуються функціями Гауса. Спрощення нелінійних рівнянь 5 порядку визначає 2 найбільші смуги. Параметри 3 інших смуг визначаються з чисельного розв'язку рівнянь 3 порядку.

Бібл. 2, Рис. 1

УДК 519.281: 621.317.088

Ігнаткін В.У., Горбійчук М.І., Дудніков В.С., Юшкевич О.П., Болонний В.Т., Тіхонов В.А. **Автоматизована система регулювання теплових параметрів печей термічної обробки корда з оптимізацією співвідношення «газ-повітря» за визначеним значенням** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.163 – 180.

У статті розглядається система автоматизації для регулювання теплових параметрів печей термічної обробки корда за пропорційно-інтегрально-диференціальним законом управління з оптимізацією співвідношення "газ-повітря" за визначеним значенням.

Технічні засоби, які реалізують систему, можуть налаштовуватися, як на нижньому рівні розподіленої АСУ ТП та зв'язуватись з засобами верхнього рівня через канал цифрового послідовного зв'язку, так і використовуватися як автономна система, яка дозволяє здійснити реалізацію заданого співвідношення "газ-повітря", а також – гнучкість та можливість налаштування та змінення параметрів контурів регулювання з врахуванням конкретних виробничих умов та вимог.

Бібл. 20, іл. 2, табл. 1.

УДК 669.18:669.046.54

Пройдак Ю.С., Камкіна Л.В., Мянєвська Я.В. **Мікрорентгеноспектральне визначення елементного складу проб пилу ДСП** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.181 – 192.

В роботі визначено склад пилу електрофільтрів газоочисток ДСП при довготривалому зберіганні у відвалах з метою одержання інформації про віднесення пилу до небезпечних відходів. Виконано мікрорентгеноспектральне визначення елементного складу проб пилу ВАТ «ММЗ» та показано відмінність у вмісті компонентів у досліджуваних пробах та в межах однієї проби при вибраних точках контролю на поверхні проби. Виходячи з отриманих результатів хімічного аналізу проб пилу електрофільтрів їх якісний склад і вміст токсичних важких металів, в цілому (за середнім значенням з 10 визначень) відповідають даним технічних умов підприємства на цей вид відходів, перевищення отримано за вмістом цинку у всіх розглянутих залізовмісних відходах. Відмінною властивістю присутніх у відходах важких металів є їхня вкрай незначна рухливість у буферних середовищах та практична нерозчинність у воді.

Бібл. 7.

УДК 004:74.01

Островська К.Ю., Гуда А.І., Романюк К.В. **Дослідження та розробка методики проектування UX / UI дизайну інтернет - платформи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(140). – Дніпро, 2022. – С.193 – 207.

Робота присвячена проектуванню інтерфейсу за допомогою розробленої методики. У роботі розглянуті питання щодо розробки методики для покращення якості розробки інтернет-магазинів та прискорення цього процесу.

Метою роботи було дослідження і розробка методики проектування UX / UI дизайну інтернет-платформи.

Бібл. 5.

UDK 004-93

Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Knysh A.V. **Pre-processing of the x-ray to increase the sensitivity of visual analysis** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.3 – 12.

The proposed algorithm is based on the process of multistage processing, which includes spatial methods of histogram equalization, fuzzy intensification, and improvement in the frequency domain. It is shown that the application of the proposed technology by increasing the contrast and resolution, can significantly improve the detail of the original data. Experimental results are given on the example of real x-ray images.

Ref. 8, fig. 2.

UDC 621.3.049.77+539.12.04.

Bytkin S.V., Krytskaja T.V. **Simulation of the SiGe use efficiency for the production of high-voltage thyristors** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.13 – 23.

In order to increase the radiation resistance of power semiconductor devices to atmospheric neutrons, the use of germanium (Ge) doped single-crystal silicon (CZ-<Ge>) was proposed. The simulation of experimental data on high-voltage class power thyristors T122, manufactured on CZ-Si и CZ-<Si,Ge> by the same technology and testing, was carried out. The results for the informed choice of Ge concentration were recieved. It was shown that at the implementation of SiGe into the technology of power devices, a non-monotonous change in the part of the thyristors, with the magnitude of the impulse voltage, which is repeated in the off-state at 1000, 1100 and 1200 V, is projected. The concentration of Ge, suitable for the manufacturing of high-voltage thyristors, is changed at the interval $2 \cdot 10^{19} - 1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Proposed manufacturing of the batch of thyristors and it's radiation testing.

Bibl. 14, ill. 3.

UDK 621.77.08

Hrechanyi O., Vasilchenko T., Vlasov A., Fedorenko S., Syniavskiy D., Tsehelnyi Y. **Using the "minimum risk" method in the technical diagnosis of metallurgical equipment** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.24 – 34.

The advantages of "oil-air" lubrication systems are indicated. The methods of recognition theory for determining the boundary value of iron-containing additives in the working fluid of the lubrication system are analyzed. An example of the practical use of the "minimal risk" method for determining the permissible content of iron chips in the working fluid of the "oil-air" lubrication system is given.

Ref.15, fig. 2, table 0.

UDC 004.896: 621.745

Ziborov I.K., Zheldak T.A. **Development of self-learning intelligent decision support system to control of steel production technological processes** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.35 – 46.

The paper proposes the principle of integrating the decision support system into metallurgical production with minimal interference in the process, which is to predict the course of the process with the issuance of recommendations on its impact to optimize the

external criterion of efficiency. Based on the proposed software structure, a number of tasks are formulated that need to be performed to build a decision support system. It is also proposed to use the mathematical apparatus of fuzzy sets to describe certain parameters of the technological process and quality criteria, fuzzy neural network for modeling reasoning processes and the choice of algorithm for its training.

Bibl. 12, ill. 2.

UDC 528.88:551.510.4

Kavats O.O., Khramov D.A., Sergieieva K.L., Vasyliiev V.V. **Open Satellite Data for Global Greenhouse Gas Monitoring** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.47 – 59.

Open satellite concentration data for the main greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) are considered in terms of their possible use for local, regional, and global monitoring. The main data characteristics are provided. The satellite products most suitable for global monitoring of greenhouse gas concentrations are specified. The disadvantages of existing satellite data are analyzed.

Ref. 17, fig. 5, tabl. 2.

UDC 004.942:631.171

Karpenko S.L., Rudakova H.V. **Mathematical model of closed irrigation system as an object of control** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.60 – 70.

The aim of the study is to build a mathematical model of a closed irrigation system as an object of management, which will analyze the processes occurring in the system and evaluate the effectiveness of management methods being developed. The article considers the scheme of relationships between the main components of a closed irrigation system such as pump unit, distribution and irrigation pipeline, shut-off valves, universal sprinklers, control system with further mathematical description of each component. The main parameters of the system that affect its operation are identified. Set quality indicators that are put forward to the control system. The system as an object of control is analyzed, input, output and internal parameters of the system are revealed.

Ref. 11, fig. 7.

UDC 004.021; 004.383

Matveeva N.O. **Features of teaching the course of study "Software tools for creating server web applications"** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.71 – 78.

In today's world, the use of web applications is constantly growing, their number is increasing, but the question arises as to how they work and how to create them. The educational course "Software tools for creating server web-applications" is designed to solve this problem. The article presents the purpose of the course of study and describes the lecture material step by step. Assimilation of lecture material is supported by laboratory work.

Bibl. 9.

Pakhomova V.N., Vydish A.D. **Study of the combined variant of determination of attacks using neural network technologies** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.79 – 86.

The modern world is impossible to imagine without computer networks: both local and global; therefore, the issue of network security is becoming increasingly topical. Currently, methods of detecting attacks can be strengthened by using neural networks, which confirms the relevance of the topic. The aim of the study is a comparative analysis of the quality parameters of network attacks using a combined variant consisting of different neural networks. As research methods used: neural network; multilayer perceptron; Kohonen's self-organizing map. The software implementation of the Kohonen self-organizing map is carried out in Python with a wide range of modern standard tools, creation of a multilayer perceptron and a fuzzy network - using Neural Network Toolbox packages, and Fuzzy Logic Toolbox system MatLAB. On the created neural networks separately and on their combined variant researches of parameters of quality of definition of network attacks are carried out. It was determined that the error of the first kind was 11%, 4%, 10% and 0%, the error of the second kind - 7%, 6%, 9% and 6% on the fuzzy network, multilayer perceptron, self-organizing Kohonen map and their combined version, respectively, which proves the feasibility of using the combined option.

Bibl. 13.

UDC 004.42: 621.746.6.001.2

Selivorstov V., Selivorstova T., Zelenskyi K., Ivanova L. **Calculation of the sizes of the overflow part of ingots from steels 40XЛ and X12MЛ at application of gas-dynamic influence and electroslog heating** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.87 – 103.

The results of analytical research on the use of methods for calculating the size of inflows of cylindrical casts from steels 40XЛ and X12MЛ weighing 200 - 16000 kg and a diameter of 0.25 - 0.7 m, hardening in metal form (mold) in electroslog heating of the melt and creating atmospheric gas pressure in the overflow part. Schemes of construction of the corresponding device and realization of technology are resulted. The use of the refrigerator design in the form of a metal housing with an insert of refractory material, graphite electrodes and a flux insert, which works on the principle of floating filling insert in the combined technology of gas-dynamic impact and electroslog heating, allows more efficient use of melt casting ingot by keeping the metal in a liquid state throughout the curing time of the main mass of the casting (ingot), thereby reducing the amount of melt required to feed the shrinkage and, accordingly, the mass of the overflow. This is especially true for alloy products that contain high-cost base components and / or alloys.

Bibl. 12.

UDC 004.6: 007.5: 004.94

Skalozub V.V., Horiachkin V.M., Klimenko I.V., Shapoval D.O. **Models and procedures for classification and forecasting of nondeterministic processes according to chaotic dynamics parameters** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.104 – 123.

The article investigates the processes of classification, modeling and short-term prediction of nondeterministic time sequences, which are anti-persistent time series according to the classification based on the Hearst parameter. Also presented is a tool software environment that provides a correct study of modeling algorithms, classification and short-term prediction of anti-persistent time series.

Bibl. 14.

UDC 004.92

Uzlova M.Y., Zhurba A.A., Zhuravlev V.M., Larionov H.I. **Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.124 – 142.

In the course of the work at the research stage, issues related to the topic of 3D modeling were considered. During the practical part, 3D-modeling of the building of the Ukrainian State University of Science and Technology was carried out, which includes the following stages: construction of a geometric 3D model of the object; rendering; at the end of the simulation - output to a 3D printer. The result of the work on "Development of a parametric model of a building in the OpenSCAD system" is to develop a parametric model of the building of the Ukrainian State University of Science and Technology using the OpenSCAD system.

Bible 5, ill. 16.

UDC 004.054, 004.932.2

Tsaryk V.Yu., Hnatushenko V.V. **Research of methods of distribution of graphic objects on websites for assessment of interface quality** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.143 – 154.

The study and comparative analysis of digital image processing methods to automate the process of assessing the quality of the graphical user interface. It is concluded that the application of the classical approach to image segmentation did not give the desired result for image analysis of web pages, namely there are problems of inability to separate adjacent graphics at the threshold binarization, and combine text characters into one block. The JSEG algorithm includes color quantization and spatial segmentation operations, due to which the result of object selection is better, but still requires further settings.

Bible 7, ill. 6.

UDC 535.373.2

Morozov A.S. **Method of own forms for determination of separate bands** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.155 – 162.

The photoluminescence spectrum decomposition to 5 bands of Gaussian functions into own forms is described. Simplifying of the nonlinear equations of the 5th order determines the 2 largest bands. The parameters of the other 3 bands are determined by the numerical solution of equations of the 3rd order.

Ref. 2, fig. 1.

UDC 519.281:621.317.088

Ignatkin V.U., Gorbiychuk M.I., Dudnikov V.C., Yushkevich O.P., Bolonny V.T., Tikhonov V.A. **Automated system for regulating the thermal parameters of cord heat treatment furnaces with optimization of the gas-to-air ratio at a certain value** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.163 – 180.

The article explains the automation system for regulating the thermal parameters of cord heat treatment furnaces according to the proportional-integral-differential control law with optimization of the gas-air ratio according to a certain value.

The technical means that implement the system can be configured both at the lower level of the distributed ACS TP and communicate with the upper level through the digital serial communication channel, and used as an autonomous system that allows the implementation of a given gas-air ratio, as well as flexibility and the ability to adjust and change the parameters of the control circuits taking into account specific production conditions and requirements.

Bibl. 20, Ill.2, table. 1.

UDC 669.18:669.046.54

Projdak Y., Kamkina L., Mianovska Y. **Micro-X-ray spectral determination of the chipboard dust samples elemental composition** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.181 – 192.

The paper determines the composition of dust from electrostatic precipitators of EAF gas cleaners during long-term storage in dumps in order to obtain information on classifying dust as hazardous waste. The micro-X-ray spectral determination of the elemental composition of the dust samples of OAO MMZ was performed and the difference in the content of components in the studied samples and within the same sample at the selected control points of the sample surface was shown. Based on the results of the chemical analysis of electrostatic precipitator dust samples, their qualitative composition and the content of toxic heavy metals, in general (according to the average value of 10 determinations) correspond to the given technical specifications of the enterprise for this type of waste, the excess was obtained in terms of the zinc content in all considered iron-containing waste. A distinctive feature of heavy metals present in the waste is extremely low mobility in buffer media and practical insolubility in water.

Bibl. 7.

UDC 004:74.01

Ostrovskaya K.Yu., Guda A.I., Romanyuk K.V. **Research and development of the method design UX / UI design internet – platforms** // System technologies. N 3(140) - Dnipro, 2022.- P.193 – 207.

The work is devoted to interface design using the developed methodology. The paper considers the issues of developing a methodology to improve the quality of development of online stores and speed up this process.

The purpose of the work was to research and develop a methodology for designing UX / UI design of an Internet platform.

Bibl. 5.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 3 (140)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 04.04.2022. Підписано до друку 08.04.2022.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 15,786. Обл.–видавн. арк. – 13,8.

Тираж 300 прим. Замовл. – 03/22

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(головний редактор)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(заст. головного редактора)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Вікторія Володимирівна

(вчений секретар)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташіца, Польща

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту» Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна