

ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет



Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 3



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 1 від 31.08.2021 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 3. 144 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)

Свідцтво про державну реєстрацію: Серія KB № 24810-14750ПР від 31.05.2021 року.

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

Редакційна колегія:

Дзюндзя О.В. – доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент – головний редактор; **Антоненко А.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу ПВНЗ «Київський університет культури», к.т.н., доцент; **Балихіна Г.А.** – провідний науковий співробітник відділення землеробства, меліорації та механізації апарату Президії НААН, к.т.н.; **Березовський Ю.В.** – доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., доцент; **Бровенко Т.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв, к.т.н., доцент; **Вороненко М.О.** – доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук Херсонського національного технічного університету, к.т.н., доцент; **Гончаренко А.В.** – професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, д.т.н., професор; **Гонесенко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., професор (Рига, Латвійська Республіка); **Горальчук А.Б.** – професор кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Харківського державного університету харчування та торгівлі, д.т.н., професор; **Димова Г.О.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н.; **Коваленко О.О.** – завідувач кафедри біоінженерії і води Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор; **Ковальчук П.І.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., професор; **Кузьмич Л.В.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., доцент; **Кузьміна Т.О.** – професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Лобода О.М.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент; **Марасанов В.В.** – член спеціалізованої Вченої ради ДФ 67.052.003 Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Матяш Т.В.** – старший науковий співробітник, завідувач відділу інформаційних технологій та маркетингу інновацій Інституту водних проблем і меліорації НААН, к.т.н.; **Отрош Ю.А.** – начальник кафедри пожежної, профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України, д.т.н., професор; **Пневматікос Н.** – доцент кафедри будівництва Університету Західної Аттики, к.т.н., доцент (Афіни, Греція); **Романенко Р.П.** – доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д.М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **Сурьянінов М.Г.** – завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор; **Ткаченко О.Б.** – професор, завідувачка кафедри технології вина та сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., доцент; **Турченко В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 004.021:004.67:519.7

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.1>

ЗНАХОДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ СПРЯЖЕНИХ ГРАДІЄНТІВ

Димова Г.О. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5294-1756

У статті для розв'язання некоректно поставлених задач методом регуляризації розглядається метод спряжених градієнтів. Градієнтом називається вектор, величина якого визначає швидкість змінення функції, а напрямок збігається з напрямком найбільшого зростання цієї функції. Вектор, що вказує напрямок найбільшого зменшення функції, називається антиградієнтом функції. Метод спряжених градієнтів застосовується для розв'язання задач безумовної мінімізації, для відшукування екстремалі згладжуючого функціоналу. Цей метод є ітераційним методом. Загальною властивістю більшості ітераційних алгоритмів є швидке спадання швидкості мінімізації в разі наближення до точки мінімуму функціонала. Тому важливою характеристикою ітераційних алгоритмів являється той фактичний мінімальний рівень значень функціонала нев'язки, до якого вдається довести процес мінімізації за реальний час.

У роботі описаний метод найшвидшого спуску як метод, що передує методу спряжених градієнтів і поєднує в собі два поняття: «градієнт цільової функції» та «сполучений напрямок векторів». Також приведений метод сполучених напрямків та два методи пошуку вагового коефіцієнта.

У статті аналізуються градієнтні методи пошуку оптимальних значень квадратичних функцій та функцій загального виду. Метод спряжених градієнтів є методом першого порядку, але швидкість його збіжності квадратична, чим цей метод вигідно відрізняється від звичайних градієнтних методів. Недоліком градієнтного пошуку є те, що під час його використання можна виявити тільки локальний екстремум функції. Для відшукування інших локальних екстремумів необхідно проводити пошук з інших початкових точок. Побудований алгоритм мінімізації функціонала за допомогою методу спряжених градієнтів.

Ключові слова: мінімізація, найшвидший спуск, сполучені напрямки, спряжені градієнти, ітераційний алгоритм.

Dymova H.O. Finding the optimal values of functions using the conjugate gradient method

The article considers the conjugate gradient method to solve ill-posed problems by the regularization method. A gradient is a vector, the value of which determines the rate of change of a function, and the direction coincides with the direction of the growth of this function itself. The vector indicating the direction of the greatest decrease in the function is called the antigradient of the function. The conjugate gradient method is used to solve unconstrained minimization problems, to find the extremal of the smoothing functional. This method is an iterative method.

A common property of most iterative algorithms is a rapid drop in the minimization rate when approaching the minimum point of the functional. Therefore, an important characteristic of iterative algorithms is the actual minimum level of the residual functional values, to which it is possible to bring the real-time minimization process.

The paper describes the steepest descent method as a method preceding the conjugate gradient method and combines two concepts: the objective function gradient and the conjugate direction of vectors. The method of conjugate directions and two methods of finding the weight coefficient are also given.

The article analyzes gradient methods for finding the optimal values of quadratic functions and functions of a general form. The conjugate gradient method is a first order method, but its rate of convergence is quadratic, which makes this method comparing favorably with conventional gradient methods. The disadvantage of gradient search is that only the local extremum of the function can be found when using it. To find other local extrema, it is necessary to search from other starting points. An algorithm for minimizing the functional using the conjugate gradient method is constructed.

Key words: minimization, fastest descent, conjugate directions, conjugate gradients, iterative algorithm.

Метод спряжених градієнтів застосовується для розв'язання задач безумовної мінімізації. Розглядається цей метод для відшукування екстремалі згладжуючого функціоналу під час розв'язання некоректно поставлених задач методом регуляризації. Метод спряжених градієнтів являється ітераційним методом. Загальною властивістю більшості ітераційних алгоритмів є швидке спадання швидкості мінімізації в разі наближення до точки мінімуму функціонала. Тому важною характеристикою ітераційних алгоритмів являється той фактичний мінімальний рівень значень функціонала нев'язки, до якого вдається довести процес мінімізації за реальний час [1].

Метод спряжених градієнтів має тривалу історію розвитку, початковий етап якого був детально описаний Голубом та О'Лірі в оглядовій статті [2]. Перша робота в даній області належить Хестенсу і Штіфель і датується 1952 роком [3]. У цій роботі метод спряжених градієнтів застосовувався для розв'язання систем лінійних рівнянь. У 1964-му році Флетчер і Рівз [4] вперше використовували метод спряжених градієнтів для мінімізації гладких функцій.

Розвиток методу триває і зараз: розробляються нові варіанти методу, досліджуються питання збіжності. Перевагами методу спряжених градієнтів є його простота й низькі витрати пам'яті, що робить його особливо ефективним під час розв'язання задач великої розмірності.

Метою роботи є дослідження методу спряжених градієнтів для розв'язання некоректно поставлених задач методом регуляризації, а також побудова алгоритму мінімізації функціонала за допомогою цього методу.

Для розгляду методу спряжених градієнтів уведемо деякі позначення, що будуть використовуватися. Скалярний добуток двох векторів $\mathbf{x}^T \mathbf{y}$ представляє суму скалярів $\sum_{i=0}^n \mathbf{x}_i \mathbf{y}_i$, причому $\mathbf{x}^T \mathbf{y} = \mathbf{y}^T \mathbf{x}$. Якщо $\mathbf{x}$ та $\mathbf{y}$ ортогональні, то $\mathbf{x}^T \mathbf{y} = 0$. Вирази, що перетворюються в матриці 1×1 , такі як $\mathbf{x}^T \mathbf{y}$ та $\mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x}$, розглядаються як скалярні величини.

Спочатку метод спряжених градієнтів був розроблений для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь виду [5]:

$$\begin{aligned} a_{0,0}x_0 + a_{0,1}x_1 + \dots + a_{0,n-1}x_{n-1} &= b_0 \\ a_{1,0}x_0 + a_{1,1}x_1 + \dots + a_{1,n-1}x_{n-1} &= b_1 \\ &\dots \\ a_{n-1,0}x_0 + a_{n-1,1}x_1 + \dots + a_{n-1,n-1}x_{n-1} &= b_{n-1} \end{aligned} \quad (1)$$

У матричній формі (1) виглядає як:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b}, \quad (2)$$

де $\mathbf{x}$ – невідомий вектор;

$\mathbf{b}$ – відомий вектор;

$\mathbf{A}$ – відома квадратна симетрична позитивно визначена матриця.

Розв'язання цієї системи є еквівалентним знаходженню мінімуму відповідної квадратичної форми:

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{Ax} - \mathbf{b}^T \mathbf{x} + \mathbf{c}. \quad (3)$$

Наявність такого зв'язку між матрицею лінійного перетворення $\mathbf{A}$ і скалярною функцією $f(\mathbf{x})$ дає можливість продемонструвати деякі функції лінійної алгебри рисунками (рис. 1).

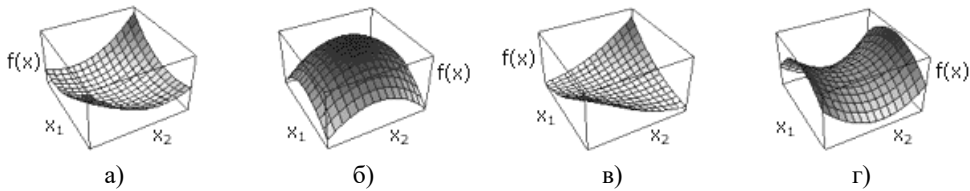


Рис. 1. Квадратичні форми для позитивно визначеної матриці (а), негативно визначеної матриці (б), позитивно невизначеної матриці (в), невизначеної матриці (г) [6]

Матриця $\mathbf{A}$ є позитивно визначеною, якщо для будь-якого ненульового вектора $\mathbf{x}$ справедливий вираз:

$$\mathbf{x}^T \mathbf{Ax} > 0. \quad (4)$$

Для знаходження позитивно визначеної матриці $\mathbf{A}$ необхідно знайти мінімум її квадратичної функції. Причому за допомогою методу спряжених градієнтів мінімум квадратичної функції можна знайти за n чи менше кроків, де n – розмірність невідомого вектора $\mathbf{x}$. Виходячи з того, що будь-яка гладка функція в околицях точки свого мінімуму гарно апроксимується квадратичною функцією, цей же метод можна використати для мінімізації і неквадратичних функцій. При цьому метод перестає бути кінцевим, а стає ітеративним [6].

Для початку розглянемо метод найшвидшого спуску як найпростіший метод пошуку екстремуму функції. Представимо алгоритм цього методу:

Крок 1. У початковій точці $\mathbf{x}(0)$ обчислюється градієнт. Рух здійснюється в напрямку антиградієнта до тих пір, доки зменшується цільова функція.

Крок 2. У точці, де функція перестає зменшуватися, знову обчислюється градієнт, і спуск продовжується в новому напрямку.

Крок 3. Процес повторюється до тих пір, доки точка не досягне мінімуму.

На рисунку 2 показана траєкторія руху в точку мінімуму методом найшвидшого спуску.

У випадку методу найшвидшого спуску кожний новий напрямок руху ортогональний попередньому.

Існує інший спосіб вибору нового напрямку руху – метод сполучених напрямків, до якого відноситься метод спряжених градієнтів. Метод спряжених градієнтів є подальшим розвитком методу найшвидшого спуску, який поєднує в собі два

поняття: градієнт цільової функції і сполучений напрямок векторів. На рисунку 3 зображені траєкторії руху в точку мінімуму в разі використання методу найшвидшого спуску (1) та методу спряжених градієнтів (2).

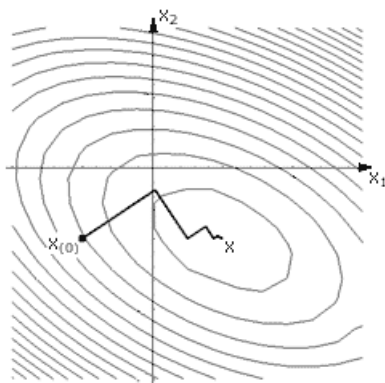


Рис. 2. Траєкторія руху в точку мінімуму методом найшвидшого спуску [6]

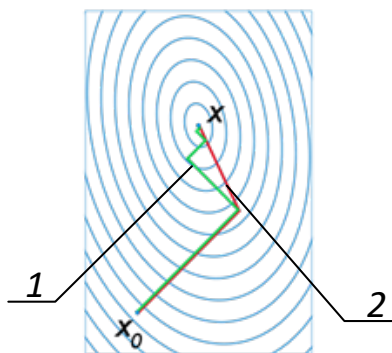


Рис. 3. Траєкторія руху в точку мінімуму [7]:
1 – методом найшвидшого спуску; 2 – методом спряжених градієнтів

Спряженість – це узагальнене поняття ортогональності. Коли матриця $\mathbf{A}$ – одинична матриця, у відповідності з рівнянням (5) вектори $\mathbf{x}$ та $\mathbf{y}$ являються ортогональними. Процес ортогоналізації Грамма-Шмідта є одним із можливих способів обчислення сполучених напрямків з використанням методів лінійної алгебри. Однак цей спосіб не застосовується для більшості задач, тому що для його використання необхідно знати матрицю $\mathbf{A}$. Існують інші ітеративні способи обчислення сполучених напрямків. Процес знаходження мінімуму функції є ітераційною процедурою, яка записується у векторній формі таким чином:

$$\mathbf{d}_{(i+1)} = \mathbf{d}_{(i+1)} + \beta_{(i+1)} \mathbf{d}_i, \quad (6)$$

де $\beta_{(i+1)}$ – ваговий коефіцієнт, який використовується для визначення сполученого напрямку.

Тобто новий сполучений напрямок (6) отримуємо складанням антиградієнта в точці повороту і попереднього напрямку руху, помноженого на ваговий

коефіцієнт $\beta_{(i+1)}$ (7). Напрямки, які отримані з (6), виявляються сполученими, якщо функція, що мінімізується, задана у формі (3), тобто для квадратичних функцій метод спряжених градієнтів відшукує мінімум за n кроків, де n – це розмірність простору пошуку.

Ваговий коефіцієнт можна визначати декількома методами. Одним із таких методів є визначення за формулою Флетчера-Рівса (Fletcher-Reeves) [8]:

$$\beta_{(i+1)} = \frac{\mathbf{r}_{(i+1)}^T \mathbf{r}_{(i+1)}}{\mathbf{r}_i^T \mathbf{r}_i}. \quad (7)$$

Для функцій загального виду алгоритм перестає бути кінцевим і стає ітеративним, при цьому метод Флетчера-Рівса передбачає оновлення алгоритмічної процедури кожні $n+1$ кроки.

Другим методом розглядають визначення вагового коефіцієнта за формулою Полака-Райбера (Polak-Ribiere):

$$\beta_{(i+1)} = \frac{\mathbf{r}_{(i+1)}^T (\mathbf{r}_{(i+1)} - \mathbf{r}_i)}{\mathbf{r}_i^T \mathbf{r}_i}. \quad (8)$$

Метод Флетчера-Рівса збігається, якщо початкова точка достатньо близька до необхідного мінімуму, тоді як метод Полака-Райбера може в рідких випадках зациклюватися нескінченно, але останній метод часто збігається швидше першого методу. Збіжність методу Полака-Райбера може бути гарантована вибором $\beta = \max\{\beta; 0\}$. Це еквівалентно перезапуску алгоритму за умовою $\beta \leq 0$ [6]. Перезапуск алгоритмічної процедури необхідний для очищення останнього напрямку пошуку і старту алгоритму спочатку в напрямку найшвидшого спуску.

Приведемо алгоритм методу спряжених градієнтів для мінімізації функцій загального виду.

Крок 1. Обчислюється антиградієнт у довільній точці x_0 : $\mathbf{d}_0 = \mathbf{r}_0 = -f'(x_0)$.

Крок 2. Здійснюється спуск в обчисленому напрямку, доки функція зменшується, тобто пошук a_i , який мінімізує $f(x_i + a_i \mathbf{d}_i)$.

Крок 3. Перехід у точку, що знайдена в попередньому пункті $x_{(i+1)} = x_i + a_i \mathbf{d}_i$.

Крок 4. Обчислення антиградієнту в новій точці $\mathbf{r}_{(i+1)} = -f'(x_{(i+1)})$.

Крок 5. Обчислення вагового коефіцієнту $\beta_{(i+1)}$ для перезапуску алгоритму (для методу Флетчера-Рівса привласнити 0 через кожні $n-1$ кроків, для методу Полака-Райбера – $\beta_{(i+1)} = \max\{\beta_{(i+1)}; 0\}$).

Крок 6. Обчислення нового сполученого напрямку $\mathbf{d}_{(i+1)} = \mathbf{d}_{(i+1)} + \beta_{(i+1)} \mathbf{d}_i$.

Крок 7. Перехід на крок 2.

На кроці 2 алгоритму здійснюється одномірна мінімізація функції. Для цього використовують метод Фібоначчі, метод золотого перерізу або метод бісекцій. Найбільш швидко збіжність забезпечує метод Ньютона-Рафсона, але для цього необхідно мати можливість обчислення матриці Гессе [6]. Змінна, по якій здійснюється оптимізація, обчислюється на кожному кроці ітерації за формулою:

$$a = \frac{f''(\mathbf{x}) \mathbf{d}}{\mathbf{d}^T f''(\mathbf{x}) \mathbf{d}},$$

де $f''(\mathbf{x})$ – матриця Гессе, що має вигляд:

$$f''(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_n} \end{pmatrix}.$$

Істотним недоліком методу Ньютона-Рафсона є залежність збіжності для невиконаних функцій від початкового наближення x_0 . Якщо x_0 знаходиться досить далеко від точки мінімуму, то метод може розбігатися, тобто в разі проведення ітерації кожна наступна точка буде більш віддаленою від точки мінімуму, чим попередня.

Метод спряжених градієнтів є методом першого порядку, але швидкість його збіжності квадратична, чим цей метод вигідно відрізняється від звичайних градієнтних методів. Метод градієнта разом з його численними модифікаціями є розповсюдженим та ефективним методом пошуку оптимуму досліджених об'єктів. Недоліком градієнтного пошуку є те, що в разі його використання можна виявити тільки локальний екстремум функції. Для відшукування інших локальних екстремумів необхідно проводити пошук з інших початкових точок. Для квадратичної функції методи найскорішого та координатного спусків збігаються лише в межі. Метод спряжених градієнтів оптимізує квадратичну функцію за кінцеве число ітерацій. Метод сполучених напрямків за оптимізації функцій загального виду збігається набагато скоріше методу найскорішого спуску, при цьому не потребує складних обчислень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация / А.Н. Тихонов и др. Москва : Наука, 1983. 200 с.
2. Golub G.H., O'Leary D.P. Some History of the Conjugate Gradient Methods and Lanczos Algorithms: 1948–1976. *SIAM Rev.* 1989. Vol. 31. P. 50–102.
3. Hestenes M.R., Stiefel E. Method of Conjugate Gradients for Solving Linear Systems. *Journal of Research of the National Bureau of Standards.* 1952. Vol. 49. P. 409–436.
4. Fletcher R., Reeves C.M. Function Minimization by Conjugate Gradients. *Computer Journal.* 1964. Vol. 7. P. 149–154.
5. Решение СЛУ методом сопряженных градиентов. 2012. URL: <http://www.hpcc.unn.ru/?dir=847> (дата звернення: 20.05.21).
6. Некипелов Н. Метод сопряженных градиентов – математический аппарат. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/conjugate> (дата звернення: 18.05.21).
7. Метод спряженого градієнта. 2021. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_спряженого_градієнта#Місцево_оптимальний_метод_найбільш_стрімкого_спуску (дата звернення: 18.05.21).
8. Безусловная оптимизация. Метод сопряженных градиентов. 2017. URL: <https://simenergy.ru/math-analysis/solution-methods/90-conjugate-gradient> (дата звернення: 11.08.21).

REFERENCES:

1. Tikhonov A.N., Goncharovskiy A.V., Stepanov V.V., Yagola A.G. (1983). *Regulyariziruyushchiye algoritmy i apriornaya informatsiya* [Regularizing algorithms and a priori information]. M.: Nauka, 200 [in Russian].
2. Golub G. H., O'Leary D. P. (1989). Some History of the Conjugate Gradient Methods and Lanczos Algorithms: 1948–1976. *SIAM Rev.* Vol. 31. 50–102 [in English].
3. Hestenes M. R., Stiefel E. (1952). Method of Conjugate Gradients for Solving Linear Systems. *Journal of Research of the National Bureau of Standards.* Vol. 49. 409–436 [in English].
4. Fletcher R., Reeves C. M. (1964). Function Minimization by Conjugate Gradients. *Computer Journal.* Vol. 7. P. 149–154 [in English].
5. Resheniye SLU metodom sopryazhennykh gradiyentov [Solution SLE conjugate gradient method]. (2012). URL: <http://www.hpcc.unn.ru/?dir=847> (date of the application 20.05.21) [in Russian].
6. Nekipelov N. Metod sopryazhennykh gradiyentov – matematicheskiy apparat [Method of conjugate gradients – mathematical apparatus]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/conjugate> (date of the application 18.05.21) [in Russian].
7. Metod spryazhenoho hradiyenta [Conjugate gradient method]. (2021). URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_спряженого_градієнта#Місцево_оптимальний_метод_найбільш_стрімкого_спуску (date of the application 18.05.21) [in Ukrainian].
8. Bezuslovnaya optimizatsiya. Metod sopryazhennykh gradiyentov [Unconditional optimization. Conjugate gradient method]. (2017). URL: <https://simenergy.ru/math-analysis/solution-methods/90-conjugate-gradient> (date of the application 11.08.21) [in Russian].

УДК 004.94:621.316

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.2>

ІНФОРМАЦІЙНО-МОДЕЛЮЮЧА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПРОЦЕСУ ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Євдокімов В.А. – кандидат наук з державного управління,
провідний науковий співробітник
Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0001-9497-4030

У статті розглянуто призначення, функціональні особливості та можливості розробленої інформаційно-моделюючої системи аналізу процесу ціноутворення на ринку електричної енергії, яка відображає складний динамічний процес ціноутворення та надає агентам-учасникам ринку можливість організації прозорої децентралізованої взаємодії. Головним призначенням системи є надання і постачальникам, і виробникам електричної енергії інформації щодо формування стратегії своєї поведінки на ринку в напрямі досягнення балансу як власних, так і суспільних інтересів, та можливість використання системи імітаційних моделей та моделюючих алгоритмів для рішення розрахункових задач формування торгових заявок для участі в аукціонах купівлі-продажу електроенергії. Такий підхід надає можливість досягнути синергетичного ефекту за рахунок неперервного прозорого врахування взаємного впливу бізнес-інтересів різних учасників, які одночасно беруть участь у процесі ціноутворення. Інформаційно-моделююча система є імітаційною системою та об'єктом, у склад функціональних структурних елементів якого входять: комплекс імітаційних моделей сегментів ринку та моделей короткострокового (на добу наперед) прогнозу цін; моделюючі алгоритми розрахунку цінкових показників на різних сегментах ринку та програмні засоби їх реалізації; моделюючі алгоритми та програмні засоби рішення задач врахування впливу факторів ризику на ціноутворення (динаміка цін на енергоносії тощо); бази даних та відповідної СУБД; засоби, які забезпечують організацію роботи інформаційно-моделюючої системи, інтерфейси адміністратора для актуалізації верифікованої інформації бази даних та інтерфейси користувачів для організації роботи з моделями, моделюючими алгоритмами і базою даних. Метою створення системи є підвищення ефективності й оперативності функціонування агентів ринку під час формування заявок на участь у проведенні торгів. В основу розробки інформаційно-моделюючої системи покладено застосування принципів мультиагентного підходу для організації інформаційно-технологічної взаємодії агентів ринку між собою і зовнішнім середовищем – реально діючою інформаційно-технологічною інфраструктурою ринку та створення інформаційно-технологічного та методичного мультиагентного середовища, в якому агенти ринку взаємодіють і конкурують на різних сегментах ринку електричної енергії. На основі проведеного дослідження наукової літератури обґрунтовано необхідність побудови такого класу системи, яка є складовою частиною програмно-апаратного комплексу імітаційної системи ціноутворення на оптовому та роздрібному ринку електричної енергії на основі сучасних інформаційних технологій. Наведено короткий опис системи.

Ключові слова: агент, інформаційно-моделююча система, мультиагентне середовище, ринок електричної енергії, ціноутворення.

Evdokimov V.A. Information and modeling system for analysis of the pricing process in the electricity market

The article considers the purpose, functional features and capabilities of the developed information and modeling system for analyzing the pricing process in the electricity market, which reflects the complex dynamic pricing process and gives market participants the opportunity to organize transparent decentralized interaction. The main purpose of the system is to provide both suppliers and producers of electricity, information on the formation of strategies for their behavior in the market to achieve a balance of both personal and public interests, and the ability to use a system of simulation models and modeling algorithms to solve calculation problems to participate in auctions of purchase and sale of electricity. This approach provides an opportunity

to achieve a synergistic effect, through continuous transparent consideration of the mutual influence of business interests of different participants who are simultaneously involved in the pricing process. The information-modeling system is a simulation system and object, the functional structural elements of which include: a set of simulation models of market segments, and models of short-term (day ahead) price forecast; modeling algorithms for calculating price indicators in different market segments and software for their implementation; modeling algorithms and software for solving problems of taking into account the influence of risk factors on pricing (dynamics of energy prices, etc.); database and corresponding DBMS; tools that provide the organization of the information modeling system, administrator interfaces for updating the database with verified information and user interfaces for organizing work with models, modeling algorithms and database. The purpose of the system is to increase the efficiency and effectiveness of market agents in the formation of applications for participation in the auction. The development of the information-modeling system is based on the application of the principles of multi-agent approach to the organization of information-technological interaction of market agents between themselves and the external environment – the real information-technological infrastructure of the market, and the creation of information-technological and methodical multi-agent environment in which market agents interact and compete in different segments of the electricity market. Based on the study of scientific literature, the need to build such a class of system, which is part of the software and hardware of the simulation system of pricing in the wholesale and retail electricity market based on modern information technology. A brief description of the system is given.

Key words: agent, information modeling system, multiagent environment, electricity market, pricing.

Вступ. У роботах [1–2] розглянуто і сформульовано основні теоретичні та прикладні задачі вдосконалення методів і засобів математичного й комп'ютерного моделювання процесів інформаційно-технологічної взаємодії між учасниками ринку електричної енергії, а також принципи побудови мультиагентної імітаційної моделі процесів ціноутворення на ринку електричної енергії. Там же обґрунтовано актуальність і необхідність створення інформаційно-моделюючої системи (далі – ІМС) процесу ціноутворення на ринку електричної енергії як системи інформаційного та розрахунково-технологічного забезпечення агентів ринку під час вирішення ними функціональних завдань у межах визначених стратегій поведінки задля досягнення цілей та інтересів за допомогою відповідного модельного та алгоритмічного інструментарію. Метою розроблення та впровадження такого інструментарію є підвищення продуктивності процесу прийняття рішень учасниками в підготовці та формуванні торгових заявок купівлі-продажу електроенергії на конкурентних сегментах ринку.

Постановка завдання. В Україні впроваджено нову модель ринку електричної енергії, яку побудовано з дотриманням вимог загальновідомої в науковій літературі під назвою «Конкуренція на всіх рівнях». У результаті склалася більш складна система взаємовідносин між учасниками як на ринку в цілому, так і в новоутворених його сегментах: ринок двосторонніх договорів (РДД); ринок «на добу наперед» (РДН); внутрішньодобовий ринок (ВДР); балансуєчий ринок (БР), роздрібний ринок (РР). Але така багатосегментна структура ринку надає можливість усім його учасникам реально конкурувати між собою, а також вільно вибирати як постачальника, так і виробника електричної енергії.

Наприклад, на роздрібному ринку кардинально змінюється система взаємовідносин унаслідок появи нових учасників – постачальників електричної енергії, постачальників універсальних послуг, операторів системи розподілу, які займаються розподілом електричної енергії, а також відповідають за її комерційний облік. Ринок зараз працює за новими правилами, відповідно до яких формування тарифів для кінцевого споживача буде залежати не тільки від його поведінки, оскільки саме він визначає обсяги попиту в залежності від тарифів, а ще

й від витрат за послуги за постачання електричної енергії – тарифів, умов оплати й обсягу продукції, що постачається. Конкуренція на цьому сегменті ринку буде залежати від стратегії надання послуг з постачання електричної енергії постачальними компаніями, енерготрейдерами, які будуть мати можливість здійснювати планування обсягів споживання на основі застосування якісних моделей прогнозування зміни цін на сегментах ринку та необхідних обсягів електричної енергії для безумовного покриття затребуваної споживачем енергії.

Отже, для ефективної роботи на зазначених сегментах ринку необхідний не тільки досвід, але й інструментарій – модельний та алгоритмічний, програмне забезпечення, яке дозволить учасникам сегментів ринку здійснювати необхідні прогнозні розрахунки, а також за допомогою моделей надасть можливість проаналізувати ступінь ризикованості поведінки на цих сегментах та пошуку найбільш раціональних та ефективних сценаріїв реалізації вибраної стратегії. Тому й була поставлена задача побудови ІМС як імітаційної системи, яка була би гнучким інформаційно-технологічним інструментом комплексного прогнозу та аналізу наслідків діяльності учасників ринку електричної енергії, призначеним для дослідження процесів ціноутворення в новій моделі ринку та пошуку найбільш раціональних шляхів еволюційного розвитку конкурентних взаємовідносин учасників-агентів на оптовому та роздрібному ринках.

Мета дослідження. Основною метою створення ІМС є підвищення ефективності й оперативності функціонування агентів під час формування заявок на участь у проведенні торгів на лібералізованому ринку електричної енергії, які формуються з урахуванням визначених оптимальних з точки зору агентів стратегій. Задля досягнення цієї мети необхідно розробити інструментарій – модельний та алгоритмічний, програмне забезпечення із застосуванням засобів алгоритмічного моделювання процесів формування показників цін, обсягів у заявках від агентів в умовах конкурентного відбору пропозицій виробників та постачальників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сформульовану задачу можна віднести до класу задач удосконалення системи організаційного управління (далі – СОУ) ринком електроенергії. Тому багато фахівців пов'язують підвищення продуктивності рішення задач організаційного управління конкурентними ринками з розвитком досліджень проблеми вдосконалення методів і засобів математичного і комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень щодо розроблення нових або вдосконалення діючих регуляторних механізмів функціонування ринків і створення на їхній основі якісно нових СОУ.

Серед проблем створення СОУ є такі: висока вартість упровадження моделі ринку, складна структура розподілу ринку на його сегменти, неминуха волатильність та маніпулювання спотовими цінами, маніпулювання окремими гравцями, здійснюване ринковою владою, складність зниження вартості генерації, непередбачуваність цін на ринках енергоресурсів, некупність вартості виробництва електричної енергії частиною генеруючих потужностей, нерівний розподіл доходів від реалізації спільно виробленої і поставленої споживачам продукції [2].

Представлена в даній статті ІМС згідно з відомою класифікацією є фактично системою підтримки прийняття рішень (далі – СППР) щодо функціонування агентів на ринку електричної енергії [3–8]. Як показує далеко не повний огляд праць, присвячених проектуванню та побудові СППР в різних предметних областях застосування, з моменту початку використання такого словосполучення в науковій літературі, за даними сайту [9], опубліковано тисячі наукових робіт. Тому

зупинимося на аналізі лише тих праць, дослідження в яких присвячені побудові імітаційних моделей для формування заявок учасниками ринку і використовуються як СППР.

У роботі [10] проведено аналіз світового досвіду функціонування конкурентних ринків електроенергії в частки використання способів подання заявок учасників ринків РДН та БР. Встановлено, що існує два основних підходи щодо подання заявок купівлі-продажу ЕЕ. Перший підхід, в якому в заявках використовуються «поетапні ціново-кількісні пари», застосовують генеруючі компанії на ринках Іспанії, Італії, Нідерландів, Польщі та Румунії. Другий підхід, в якому в заявках використовуються подання «дискретних ціново-кількісних пар з лінійною інтерполяцією по між ними», застосовується на біржах ЕЕ NordPool, в Німеччині, Франції [10]. Там же детальніше описано особливості використання цих підходів.

Проведений аналіз літературних джерел [11–18] показує, що для формування заявок знаходять застосування різні імітаційні моделі сегментів ринку з метою пошуку оптимальних рішень для подачі заявок з купівлі-продажу електроенергії, а також моделі процесів ціноутворення на них. Чимало досліджень присвячено вдосконаленню методів прогнозування цінних показників функціонування ринку. Природно, що перераховані інструментальні засоби з різним ступенем продуктивності можуть бути використані й використовуються як СППР.

Незважаючи на наявність на ринку досить великої кількості комп'ютерних систем моделювання, які використовуються для побудови імітаційних моделей процесів ціноутворення, можна стверджувати, що в найближчі роки навряд чи з'явиться універсальне програмне забезпечення, що реалізує імітаційні моделі процесів функціонування складних багаторівневих СОУ ринком електроенергії, яке можна було б адаптувати та використовувати для всіх систем такого класу складності. Тому багато досліджень у науковій літературі присвячено проблемі подальшого вдосконалення імітаційних моделей і систем, які використовуються як СППР у вирішенні завдань організаційного управління ринком електроенергії.

Виходячи з поставлених цілей даної роботи та враховуючи специфіку предметної області – ринку електричної енергії, інформаційна технологія побудови ІМС функціонально повинна відповідати таким сучасним вимогам [5–8; 19], як:

- підтримка розподіленої в просторі архітектури системи;
- підтримка корпоративної нормативно-довідкової інформації;
- наявність механізмів обміну інформацією, що зберігається на різних рівнях управління;
- модульний принцип побудови, що допускає ізольоване використання окремих компонент системи, а також їхніх комбінацій, що диктуються виробничо-економічними завданнями;
- можливість агрегування, консолідації та інтеграції даних за рівнями управління;
- забезпечення інтерфейсів взаємодії із зовнішніми системами;
- можливість нарощування функціонального складу системи.

Крім того, вона повинна враховувати ретроспективні (за весь період функціонування діючої моделі ринку) дані про ключові параметри функціонування ринку та мати необхідні засоби для прогнозування майбутніх цін і обсягів споживання електричної енергії на ринку, а також за допомогою відповідних алгоритмів формування цін та тарифів надавати можливість користувачам побудувати моделі для розрахунку цін, зокрема на таких сегментах, як РДН та БР.

Виклад основного матеріалу дослідження. Структурно ІМС складається із 4-х основних функціональних блоків, пов'язаних зі здійсненням збору, обробкою динамічних і статистичних даних та проведенням процесів ціноутворення прогнозування і моделювання учасників ринку електричної енергії, а саме таких, як:

1) «База (банк) даних ринку електричної енергії». Зазначений блок використовується адміністратором системи, який забезпечує в автоматичному режимі збір та обробку динамічних і статистичних даних в ІМС;

2) «Актуальна інформація стану ринку електричної енергії». Цей блок дозволяє візуально спостерігати за станом інформації ринку електричної енергії в залежності від сегментів ринку (оптовий та роздрібний ринок), його як цінові, так і технічні показники, а також здійснювати відповідний моніторинг та аналіз, використовуючи можливість скачування актуальної інформації із ІМС;

3) «Прогнозування». Цей блок дозволяє здійснювати прогнозування як погодинних, так і місячних даних цін та обсягів на відповідних сегментах ринку з використанням моделі штучних нейронних мереж та інших моделей;

4) «Моделювання». Зазначений блок надає можливість здійснювати різні сценарні поведінки учасників ринку електричної енергії з метою отримання відповідних цілей та завдань. Для цього пропонується вносити відповідні змінні дані обсягів, цін та термінів виробництва/постачання/ споживання, що у свою чергу впливають на кінцеву ціну відповідного сегменту ринку (оптового та роздрібного ринку).

Додомо, що база даних ІМС дозволяє діючим учасникам ринку, а також майбутнім активним споживачам електроенергії, визначити обсяги та ціни на відповідних сегментах ринку електричної енергії, зокрема на ринку двосторонніх договорів, ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку, балансуєчому ринку та роздрібному ринку. При цьому в ній передбачено можливість урахування:

- тарифу на послугу з передачі електричної енергії магістральними мережами;
- тарифу на розподіл електричної енергії місцевими локальними мережами;
- тарифів на постачання електричної енергії постачальниками універсальних послуг;
- тарифу з диспетчерського управління й цін і тарифів на інші послуги.

На основі даних результатів конкурентного відбору система дозволяє визначати перелік блоків ТЕС виробників, пропозиції яких акцептуються на ринку двосторонніх договорів, ринку «на добу наперед», балансуєчому ринку для усунення небалансу в системі та врахування системних обмежень, а також ціни за небаланси для сторін, відповідальних за баланс. Результати розрахунків можна переглядати в графічному та табличному вигляді.

Система збору даних ІМС формує та актуалізує базовий набір вхідних даних, який дозволяє користувачеві на першому етапі отримати певні результати розрахунків поточного стану ринку в показниках складників ціни у споживача.

На наступних етапах надається можливість:

- здійснювати оціночні розрахунки із внесенням власних вхідних даних для погодинного прогнозування цін за допомогою нейросіткової моделі для різних варіантів показників стану ринку;
- проводити прогнозні розрахунки цін і тарифів, ураховуючи в процесі розрахунку дані інших користувачів, що створює ефект онлайн-гри;
- формувати різниці цін споживача в діючому ринку та отриманої за результатами оціночних розрахунків.

Підвищення ефективності й оперативності функціонування агентів досягається за рахунок того, що в ІМС автоматизовано такі розрахунково-технологічні процеси:

- здійснення аналізу поведінки учасників в умовах діючої моделі ринку, зокрема визначати перелік генеруючого устаткування, яке може бути включене в роботу, за результатами моделювання процесу конкурентного відбору пропозицій виробників на ринку «на добу наперед» та балансуєчному ринку;

- збирання та візуалізації інформації про функціонування ринку електроенергії у зручній єдиній формі для виробників, постачальників, споживачів, підприємств системи передачі електроенергії та диспетчерського управління задля здійснення зрівняльного аналізу цін та тарифів;

- зберігання бази даних кінцевих споживачів з урахуванням регіону постачання та класу напруги мереж, до яких підключений споживач, що забезпечить підвищення точності та актуальності даних під час проведення моделюючих розрахунків для всіх користувачів системи;

- здійснення оцінки мінімально-можливих цін та тарифів, виходячи з витрат, які можуть бути понесені учасниками ринку електричної енергії та визначення мінімальної ціни в кінцевого споживача в нових умовах організаційної і технологічної взаємодії учасників ринку відповідно до його Правил [20–22];

- обслуговування процесів підготовки торгів на ринку «на добу наперед» та «внутрішньодобовому» ринку для забезпечення виконання ключових функцій із прийому і зберігання технічної та комерційної інформації, яка надається учасниками ринку, обробка оперативних даних учасників ринку, моніторинг динаміки показників сегментів ринків та аналіз поведінки її учасників;

- ведення нормативних документів у частині діючих тарифів, витрат на передачу електроенергії магістральними мережами, її розподіл;

- накопичення поточної інформації від виробників, постачальників, споживачів електричної енергії в частині обсягів виробництва та відпуску електроенергії, постачання електроенергії споживачам, обсягів утрат електроенергії, заявок та обмежень за потужністю виробників;

- накопичення та зберігання результатів розрахунків обсягів купівлі-продажу електроенергії, середньозважених цін на електроенергію, аналітико-статистичних та прогнозних розрахунків.

Висновки та пропозиції. Розроблено та побудовано (на момент виходу статті) інформаційно-моделюючу систему як складову частину відкритої комплексної моделюючої системи ціноутворення на оптовому та роздрібному ринку електричної енергії (<https://equant.pp.ua>). Розвиток та її вдосконалення буде проводитись шляхом запровадження нових комп'ютерних моделей функціонування сегментів ринку, впливу факторів ризику, підвищення якості моделей прогнозування основних показників ринку електричної енергії. Крім того, в результаті проведення необхідних процедур сценарного аналізу на основі статистичних даних динаміки поведінки цих різних груп учасників ринку електричної енергії стане можливим визначити, аналізувати та оцінювати основні фактори ризику в прийнятті рішень і на цій основі сформулювати пропозиції щодо корегування стратегії подальшого розвитку самого ринку, а також його окремих сегментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мохор В.В., Євдокімов В.А. Про створення мультиагентної імітаційної моделі процесів ціноутворення на ринку електроенергії. *Електрон. Моделювання*. 2020. № 6. С. 3–17.

2. Євдокімов В.А. Формулювання задачі побудови мультиагентної імітаційної моделі процесів ціноутворення на ринку електроенергії. *Електрон. Моделювання*. 2021. № 3. С. 1–16.
3. Eom S.B. Decision support systems research: current state and trends. *Industrial Management & Data Systems*. 1999. Vol. 99/5/ P. 213–220.
4. Eom S.B. DSS, BI, and Data Analytics Research: Current State and Emerging Trends (2015–2019). *Decision Support Systems X: Cognitive Decision Support Systems and Technologies*. Springer International Publishing, 2020. P. 167–179.
5. Ларичев О.И., Петровский А.Б. Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития. *Итоги науки и техники: Техническая кибернетика*. Москва : ВИНТИ, 1987. Т. 21. С. 131–164.
6. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений. *Информационные технологии в управлении: Проблемы управления*. 2003. № 1. С. 13–28.
7. Концепция построения информационно-технологической платформы проектирования систем поддержки принятия решений для организационного управления энергорынком. *Адаптивні системи автоматичного управління* / З.Х. Борукаєв и др. 2018. № 1 (32). С. 3–14.
8. Тиханьчев О.В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений. Москва : Эдитус, 2018. 76 с.
9. URL: https://www.elibrary.ru/title_items.asp?id=10431
10. Блінов І.В., Парус Є.В. Підхід до формування лотів виробників на аукціоні з купівлі-продажу електричної енергії. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Київ : ІЕД НАНУ, 2011. Вип. 28. С. 20–25.
11. Королев М., Углов Д. Составляем заявки на продажу. *Профессиональный журнал*. 2004. С. 64–69.
12. Выбор оптимальной стратегии поведения генерирующей компании на рынке «на сутки вперед» в условиях рыночного регулирования. *Вектор науки ТГУ* / А.Ю. Амелина и др. 2013. № 4. С. 63–68.
13. Микешина А.А. Стратегия поведения генерирующей компании на оптовом рынке электроэнергии. *Экономика, Статистика и Информатика*. 2010. № 6. С. 190–192.
14. Филатов С.А. Модели и методы формирования оптимальных стратегий поведения генерирующих компаний на оптовом рынке электрической энергии : автореф. дисс. ... канд. экон. наук : 08.00.13. Санкт-Петербург : из-во СПб ГИЭУ, 2014. 19 с.
15. Математическая модель управления функционированием генерирующей компании в современных условиях. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* / Ю.А. Секретарев и др. 2018. Т. 329. № 2. С. 146–158.
16. Битеряков Ю.Ф., Кутинов С.А. К вопросу формирования цен на конкурентных рынках электроэнергии. *Вестник ИГЭУ*. 2005. Вып. 2. С. 1–4.
17. Балансуючий ринок електроенергії України та його математична модель. *Технічна електродинаміка* / О.В. Кириленко та ін. 2011. № 2. С. 36–43.
18. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним урахуванням мережевих обмежень енергетичних систем. *Техн. електродинаміка* / О.В. Кириленко та ін. 2019. № 5. С. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>
19. Сараев А.Д, Щербина О.А. Системный анализ и современные информационные технологии. *Труды Крымской Академии наук*. Симферополь (Симферополь–Вена) : СОНАТ, 2006. С. 47–59.
20. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг. Про затвердження Правил ринку. Постанова № 307

від 14.03.2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18#Text> (дата звернення: 06.07.21).

21. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку. Постанова № 308 від 14.03.2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18#Text> (дата звернення: 06.07.21).

22. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг. Про затвердження Правил роздрібного ринку. Постанова № 312 від 14.03.2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#Text> (дата звернення: 06.07.21).

REFERENCES:

1. Mohor V.V. (2020) On the creation of a multi-agent simulation model of pricing processes in the electricity market / V.V. Mohor, W.A. Evdokimov // *Electron. modeling*, 42, № 6, 3-17.
2. Evdokimov V.A. (2021) Formulation of the problem of building a multi-agent simulation model of pricing processes in the electricity market / V.A. Evdokimov // *Electron. modeling*, 43, № 3, 1-16.
3. Eom S.B. (1999) Decision support systems research: current state and trends // *Industrial Management & Data Systems*, vol. 99/5, 213-220.
4. Eom S.B. (2020) DSS, BI, and Data Analytics Research: Current State and Emerging Trends (2015–2019) // *Decision Support Systems X: Cognitive Decision Support Systems and Technologies*. Springer International Publishing, pp. 167-179.
5. Larichev O.I., Petrovsky A.B. (1987) Decision support systems: current status and development prospects // *Results of science and technology: Technical cybernetics*. M.: VINITI, t. 21, 131-164.
6. Trachtengertz E.A. (2003) Computer systems to support management decision-making // *Information technology in management: Management problems*, № 1, 13-28.
7. Borukaev Z.H. (2018) The concept of building an information technology platform for designing decision support systems for organizational management of the energy market / Z.H. Borukaev, K.B. Ostapchenko, O.I. Lisovichenko // *Adaptive automatic control systems*, № 1 (32), 3-14.
8. Tihanichev O.V. (2018) Theory and practice of automation of decision support. M.: Edits., 76 p.
9. https://www.elibrary.ru/title_items.asp?id=10431
10. Blinov I.V. (2011) The approach to the formation of lots of manufacturers at the auction for the purchase and sale of electricity / I.V. Blinov, E.V. Parus // *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*. – K.: IED NASU, Issue 28, 20-25.
11. Korolev M. (2004) We make applications for sale... / M. Korolev, D. Uglov // *Professional magazine*, 64-69.
12. Amelina A.Yu. (2013) The choice of the optimal strategy of the behavior of the generating company in the market "a day ahead" in terms of market regulation / A.Yu. Amelina, E.M. Lisin, Yu.A. Anisimova, V. Strielkovski // *Vector of science of TSU*, 2013, № 4, 63-68.
13. Mikeshina A.A. (2010) Strategy of behavior of the generating company in the wholesale electricity market / A.A. Mikeshina // *Economics, Statistics and Informatics*, № 6, 190-192.
14. Filatov S.A. (2014) Models and methods of formation of optimal strategies of behavior of generating companies in the wholesale electricity market: author's ref. diss. ... Cand. econ. Science: 08.00.13 / S.A. Filatov. – St. Petersburg: from St. Petersburg GIEU, 19 p.

15. Sekretarev Yu. A. (2018) Mathematical model of control of functioning of the generating company in modern conditions / Yu. A. Sekretarev, T.V. Myatezh, B.N. Moshkin // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Georesource engineering*, V. 329, № 2, 146–158.
 16. Biteryakov Yu.F. (2005) On the issue of price formation in competitive electricity markets / Yu.F. Biteryakov, S.A. Kutinov // *Bulletin of IGEU*. -. – Issue, 1-4.
 17. Kirilenko O.V. (2011) Balancing electricity market of Ukraine and its mathematical model / O.B. Kirilenko, I.B. Blinov, E.V. / Sail // *Technical electrodynamics*, № 2, 36–43.
 18. Kirilenko O.B. (2019) Simulation model of the electricity market "for the day ahead" with implicit consideration of network constraints of energy systems / O.V. Kirilenko, I.B. Blinov, EV Parus, G.A. Ivanov // *Techn. electrodynamics*, № 5, 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>
 19. Saraev A.D. (2006) System analysis and modern information technologies / A.D. Saraev, O.A. Shcherbina // *Proceedings of the Crimean Academy of Sciences*. – Simferopol (Simferopol – Vienna): SONAT. – P. 47-59.
 20. National Commission for State Regulation of Energy and Utilities. About the statement of Rules of the market. Resolution № 307 of March 14, 2018 [Electronic resource]: Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18#Text> – (Application date: 06.07.21).
 21. National Commission for State Regulation of Energy and Utilities. On approval of the Rules of the day-ahead market and the intraday market. Resolution № 308 of March 14, 2018 [Electronic resource]: Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18#Text> – (Application date: 06.07.21).
 22. National Commission for State Regulation of Energy and Utilities. About the statement of Rules of the retail market. Resolution 12312 of March 14, 2018 [Electronic resource]: Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18#Text>. (Date of application: 06.07.21).
-

УДК 004.56

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.3>

ПРИНЦИПИ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У СФЕРІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Козак Є.Б. – розробник програмного забезпечення,

інженер-програміст

GAN Inc.

ORCID ID: 0000-0002-8342-2609

У статті досліджено принципи впровадження моделей машинного навчання у сферу інтелектуального обслуговування промислового обладнання. Зазначено, що розумне виробництво використовує передову аналітику даних для доповнення фізичних законів щодо підвищення ефективності роботи виробничих систем. Наголошується, що за широкого поширення датчиків та Інтернету речей (IoT) зростає потреба в обробці великих виробничих даних, що характеризуються високим об'ємом, високою швидкістю і високою різноманітністю. Наведено схему промислової машини, яка використовується для перемотування та різання пакувальної плівки на виробництві. Детально розкрито виробничий процес та складено структурну схему налаштування системи, сформовано модель класифікації параметрів для виявлення збоїв у роботі промислової машини. Підкреслено, що дані, отримані від датчиків, фактично є дискретними даними часу, що відбираються за секунду часу, а декомпозиція даних часових рядів виявила тенденцію до зростання залишків. Отримані часові ряди стаціонарувались за допомогою диференціації, а логарифмічне перетворення у свою чергу використовувалося для зменшення дисперсії даних часових рядів. При цьому наголошується, що диференціація усуває зміни рівня динамічного ряду, а отже, усуває тенденції та сезонність, причому середнє ковзне та стандартне відхилення знайдено незалежно від часу, на основі чого побудовано діаграму стаціонарності. Визначено етапи прогнозування та запропоновано модель інтегрованої ковзної середньої. У роботі запропоновано три моделі: метод опорних векторів, глибока нейронна мережа та найвигідніший базис класифікатор, здійснено порівняння всіх трьох моделей та доведено, що модель глибокої нейронної мережі була більш ефективною в разі моделювання даних. Прогнозна модель побудована для зменшення низькоякісних виробничих циклів та планування технічного обслуговування. Таким чином, наголошено, що машинне навчання на основі IoT допоможе подолати суттєві обмеження продуктивності та пов'язані з цим витрати на обслуговування, що в загальному випадку значно підвищить продуктивність виробничого обладнання.

Ключові слова: машинне навчання, промислове обладнання, інтелектуальне обслуговування, модель, хмара, персональний комп'ютер.

Cozac Eu.B. Principles of introduction of machine learning models in the field of intellectual maintenance of industrial equipment

The article investigates the principles of implementation of machine learning models in the field of intelligent maintenance of industrial equipment. It is noted that smart manufacturing uses advanced data analytics to supplement physical laws to improve the efficiency of production systems. It is emphasized that with the widespread use of sensors and the Internet of Things (IoT), the need for processing large production data, characterized by high volume, high speed and high diversity. The scheme of an industrial machine used for rewinding and cutting of packaging film in production is given. The production process is revealed in detail and the structural scheme of system adjustment is made, the model of clustering of parameters for detection of failures in work of the industrial machine is formed. It is emphasized that the data obtained from the sensors are essentially discrete time data taken per second of time, and the decomposition of the time series data showed a tendency to increase the residuals. The obtained time series were stationary by differentiation, and, in turn, the logarithmic transformation was used to reduce the variance of the time series data. At the same time, it is emphasized that differentiation eliminates changes in the level of the time series, and therefore eliminates trends and seasonality, while the average sliding and standard deviation is found regardless of time on the basis of which the stationary

diagram is constructed. The stages of forecasting are determined and the model of the integrated moving average is offered. Three models are proposed: the reference vectors method, the deep neural network and the naive Bayesian classifier; all three models are compared and it is proved that the deep neural network model was more effective in modeling the data. The forecast model is built to reduce low-quality production cycles and maintenance planning. Thus, it is emphasized that machine learning based on IoT will help to overcome significant productivity constraints and associated maintenance costs, which in general will significantly increase the productivity of production equipment.

Key words: machine learning, industrial equipment, intelligent service, model, cloud, personal computer.

Постановка проблеми. IoT – це мережа фізичних пристроїв та комп'ютерів, що дозволяє їм збирати та обмінюватися даними. Зібрані дані зазвичай агрегуються та зберігаються на хмарних платформах. IoT дозволяє здійснювати дистанційне зондування та моніторинг цих пристроїв. Ця робота в Інтернеті та зв'язок дозволяє автоматизувати роботу в різних сферах.

Одним із таких чудових прикладів є промисловий IoT (IIoT). Виробничі системи з підтримкою IoT дозволяють контролювати важливі дані машини та керувати машиною за допомогою різних сигналів. Це допомагає поліпшити виробничий процес і допомагає планувати технічне обслуговування машин.

Поєднуючи зв'язок між машинами (M2M), PLC, SCADA, IPC, аналіз даних та бізнес-аналітику, IIoT змінює образ виробничої діяльності, надаючи йому перспективності, і, як результат, компанії в різних сферах використовують свою ефективність у збільшенні продуктивності.

За допомогою налаштування моніторингу на основі умов маємо уявлення про найбільш важливі параметри в режимі реального часу. Системи, які зараз використовуються в більшості виробничих підрозділів, мають обмежені можливості з урахуванням аналізу та зберігання історичних даних. Отже, збираємо ці дані та використовуємо машинне навчання, щоб заздалегідь прогнозувати збої, щоб уникнути великих збитків, понесених фірмою, якщо машина зупиниться з будь-якої причини, і запобігти виробництву низькосортної продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низка вчених підійшла до вивчення моделей машинного навчання та впровадження їх у різні сфери сучасного життя.

О.Ю. Олійник та Ю.К. Тараненко [1] розробили програмний комплекс, який вирішує проблему ідентифікації діагностичних вібросигналів методом підбору часових рядів тестового сигналу з мінімальною близькістю на основі вейвлет-коефіцієнтів. Відбір у тестовий набір здійснюється в процесі контролю за мінімальним значенням коефіцієнта автокорреляції, який близький до нуля.

Розгляд теоретичних та практичних аспектів з питань розвитку та вдосконалення технологій машинного навчання в промисловості здійснили О.С. Подскребко, Д.М. Квашук та А.К. Берідзе-Стаховський [2]. Авторами встановлено, що найбільш актуальною сферою постає промисловість, оскільки значну частину завдань, які мають бути вирішені для людства, потрібно виконувати в автоматизованому режимі.

Ю.В. Хома [3] здійснив подальший розвиток теорії комп'ютерного опрацювання біомедичної інформації, в рамках якої обґрунтовано широке, комплексне використання на всіх структурних рівнях штучних нейронних мереж і технологій глибокого навчання в поєднанні з методами цифрового опрацювання сигналів, що слугує універсальною платформою для розширення функціональних можливостей і покращення характеристик комп'ютерних систем для ефективного вирішення різнопланових завдань у сфері біоінформатики.

Застосування машинного навчання в автоматизації промисловості для технічного обслуговування дослідили М.А. Бідяк та О.В. Олійник [4]. Науковцями доведено, що вбудовані в обладнання датчики своєчасно й оперативно збирають, передають інформацію про його роботу в інформаційну систему. Зібрана інформація дозволяє прогнозувати можливі відмови та аварії, а також допомагати розробляти оптимальні режими роботи устаткування, тим самим збільшуючи продуктивність і поліпшуючи роботу підприємства загалом.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи, як: S.S. Agrawal, A. Patel [5], Paul R. Daugherty, H. James Wilson [6], S. Dhankhad, E. Mohammed, B. Far [7], S. Agrawal, A. Patel [8], N. Amruthnath, T. Gupta [9], N. Patel, P. Oza P., S. Agrawal [10], Y. Kou, G. Cui, J. Fan, X. Chen, W. Li [11], N. Daneshjo [12], A.A. Puchalski [13] тощо.

Проте, враховуючи описані наукові набутки за темою, питання розкриття принципів впровадження моделей машинного навчання у сферу інтелектуального обслуговування промислового обладнання залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Мета статті – дослідити принципи впровадження моделей машинного навчання у сферу інтелектуального обслуговування промислового обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Забезпечення прогнозування роботи промислових машин для підвищення продуктивності та запобігання пошкодження якості за рахунок впровадження моделей машинного навчання є перспективним напрямом сучасних наукових досліджень. У межах даної роботи об'єктом дослідження вибрано промислову машину, яка використовується для перемотування та різання пакувальної плівки на виробництві.

Операція починається з процесу розмотування рулону від намотувальної машини, який потім випрямляється і подається до щілини для нарізання на необхідну ширину валка. Леза або ножі розрізають пакувальну плівку залежно від вимог.

У процесі нарізання натяг і тиск мають велике значення в разі погіршення характеристик пакувального рулону. Оператор задає машині параметр натягу і тиску. Цей заданий натяг і тиск підтримуються самою машиною залежно від діаметра рулону, ширини рулону та довжини валка.

Зі збільшенням діаметру рулону натяг необхідно зменшувати, щоб підтримувати задану швидкість. Аналогічно для значень тиску: тиск зростає, поки цикл триває. Це робиться програмованим логічним контролером (далі – ПЛК), установленим на промисловій машині, який надсилає сигнали необхідним виконавчим механізмам.

ПЛК на машині зберігає дані для різних параметрів, які потрібно контролювати. Концепція послідовного включення компонентів використовується для зменшення проводки між машинами та ПЛК. За допомогою порту RS485 дані надсилаються на адаптер, котрий потім перетворює дані у форму TCP, яка подається на промисловий персональний комп'ютер (далі – ППК). ППК підключений до Інтернету і передає дані в хмару за допомогою протоколу MQTT¹ у вигляді пакетів даних. На рисунку 2 показана блок-схема процесу передачі даних від двигуна (управління рулонами розрізу) до ПЛК і ППК, який підключений до Інтернету для надсилання даних до хмари.

¹ <https://uk.wikipedia.org/wiki/MQTT>

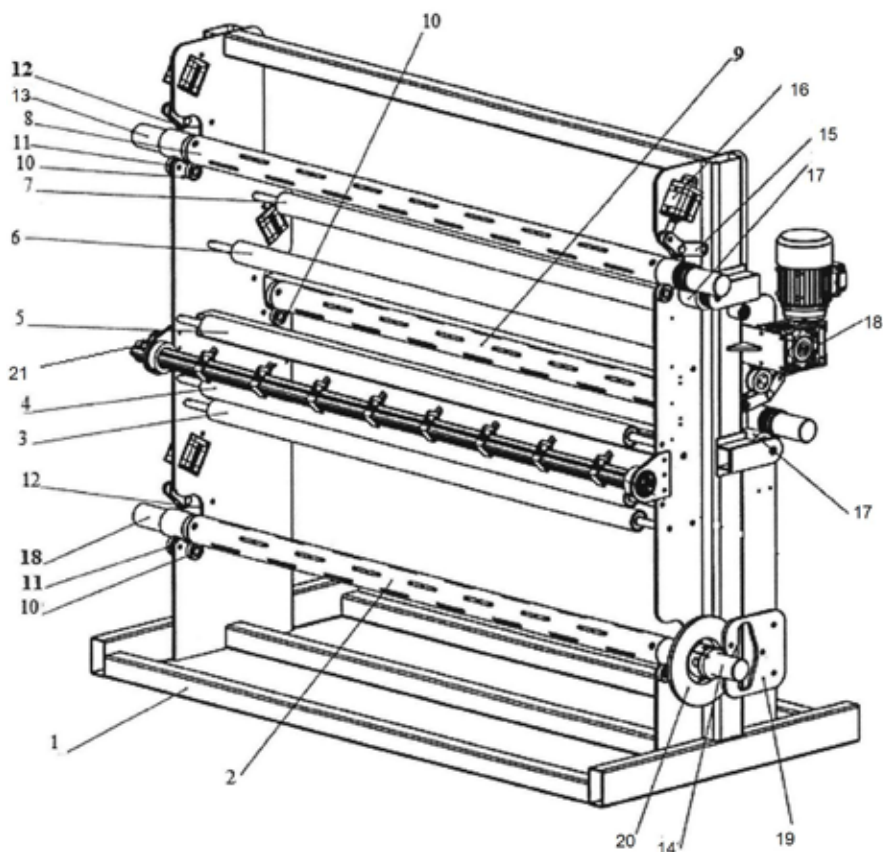


Рис. 1. Промислова машина, яка використовується для перемотування та різання пакувальної плівки на виробництві

1 – станина з двома вертикальними стійками, з прорізами-гніздами для розмотувального вала і намотувальних валів, установлених нерухомо в осьовому напрямку, при цьому проріз для одного з намотувальних валів виконано з передньої панелі пристрою, а для іншого намотувального вала – із задньої стінки пристрою; 2 – розмотувальний, порожній вал; 3, 4, 5, 6, 7 – проміжні вали; 8 – намотувальний, вал, який може бути порожнистим усередині, розташований з передньої панелі пристрою; 9 – намотувальний вал, який може бути порожнистим усередині, розташований у задній частині пристрою, нижче намотувального вала 8; 10 – напрямні ролики; 11 – опорні ролики; 12 – притискний ролик; 13 – насадка з ніпелем усередині для під'єднання до пневмосистеми; 14 – насадка для установки на валу 2 гальмівного диска; 15 – важіль; 16 – силовий циліндр (пнеумоциліндр); 17 – приводний ролик; 18 – редуктор; 19 – гальмівний пристрій; 20 – гальмівний диск; 32 – рейка.

Дані, що генеруються з промислової машини для різання, збираються за допомогою датчиків і передаються в хмару.

Дані зберігаються у форматі CSV у системі, що складається з 5-ти стовпців, а саме таких, як: час, напруга, тиск, ширина та діаметр.

Підхід складається із двох етапів. Перший включає аналіз даних, кластеризацію та контрольовані методи навчання, щоб отримати уявлення з даних, а другий слідує за першим, щоб додати прогнозні моделі за допомогою моделі

Бокса-Дженкінса, інтегрованої моделі авторегресії, змінного середнього, тобто моделі й методології аналізу часових рядів.

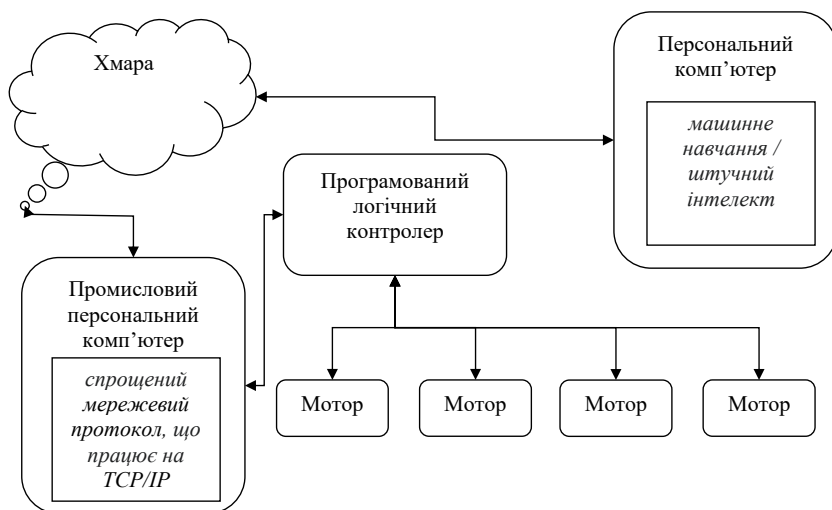


Рис. 2. Структурна схема налаштування системи

Датчики надсилають дані, коли машина показує зміни стану, кожна зміна фіксується в секунду часу. Отже, отримані дані складаються з багатьох нульових значень. Перший крок до попередньої обробки включає заміну нульових значень на середні ковзні значення. Оскільки точок відмов у даних менше в порівнянні з точками даних, що представляють хороші виробничі цикли, за допомогою кластеризації необхідно знайти точки збою (рис. 3).

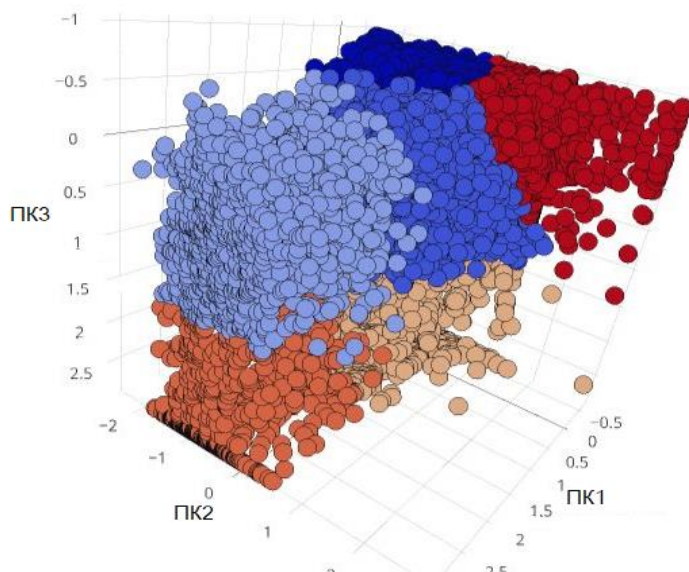


Рис. 3. Кластеризація параметрів для виявлення збоїв у роботі промислової машини

Наступним етапом виступає ретельний аналіз збоїв, а також точок відмов, які були позначені у вхідних маркованих даних, щоб знайти відмінності від ідеальних циклів виробництва. Глибокий аналіз дозволяє виявити вплив параметрів на якість продукції.

Порушення якості відбувається, коли відбувається раптовий спад тиску, що призводить до поганого виробничого циклу (рис. 4). Отже, цей аналіз допоміг відобразити збої з характерними змінами значень параметрів. Поява таких явищ призводить до погіршення якості продукції.

Різні контрольовані моделі, такі як нейронна мережа та метод опорних векторів, використовувались у наборі даних для підготовки класифікатора для виявлення збоїв якості у виробничих циклах.

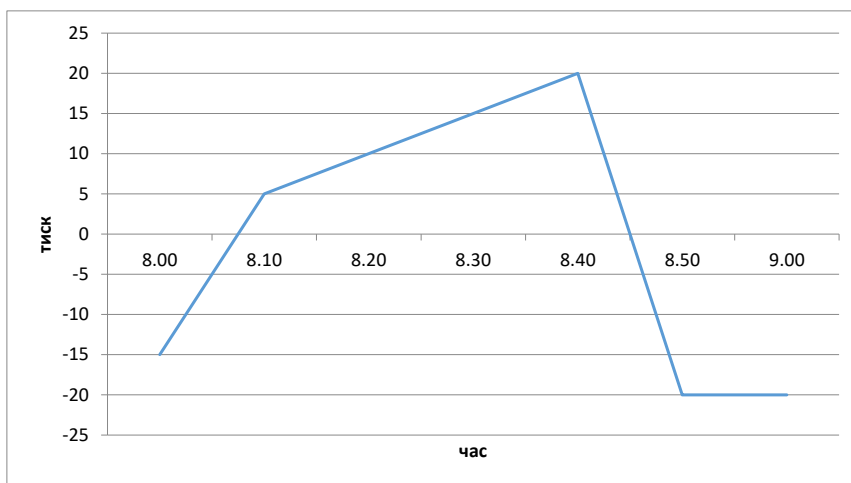


Рис. 4. Діаграма тиску неякісного виробничого циклу

Використання прогностного аналізу є ефективним проектним рішенням для прогнозування промислових машин. Для прогнозування параметрів машини в межах даної статті використано авторегресивну інтегровану ковзну середню для картографування станів машини в майбутньому.

Дані, отримані від датчиків, фактично є дискретними даними часу, що відбираються за секунду часу. Декомпозиція даних часових рядів виявила тенденцію до зростання залишків.

Отже, часові ряди стаціонарувалися за допомогою диференціації. Логарифмічне перетворення використовувалось для зменшення дисперсії даних часових рядів. Диференціація усуває зміни рівня динамічного ряду, а отже, усуває тенденції та сезонність. При цьому середнє ковзне та стандартне відхилення знайдено незалежно від часу (рис. 5).

Модель інтегрованої ковзної середньої (ARIMA) була використана для прогнозування майбутніх точок [14] у ряді даних, оскільки дані показали не стаціонарність. Модель вбудована (рис. 6) у набір даних із прогнозом на ймовірність виникнення відмови.

Формування моделі на рисунку 6 здійснюється на базі набору історичних даних, які потім використовуються для навчання моделі ARIMA. Для нових

та невидимих виробничих циклів модель ARIMA передбачає значення параметрів для решти виробничого циклу, і ці значення надходять до контрольованої моделі для класифікації. Якщо модель передбачає цикл як неефективний виробничий цикл, необхідно вжити необхідних заходів, щоб уникнути цього.

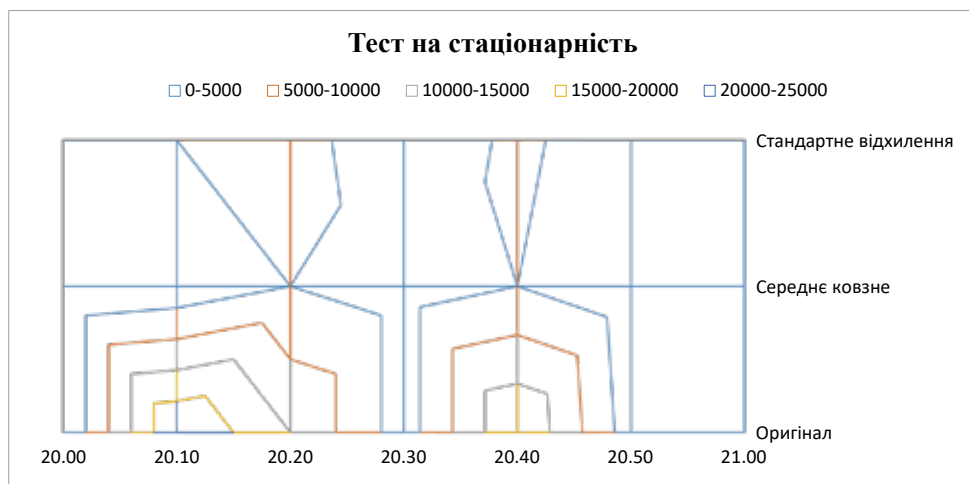


Рис. 5. Тест на стаціонарність

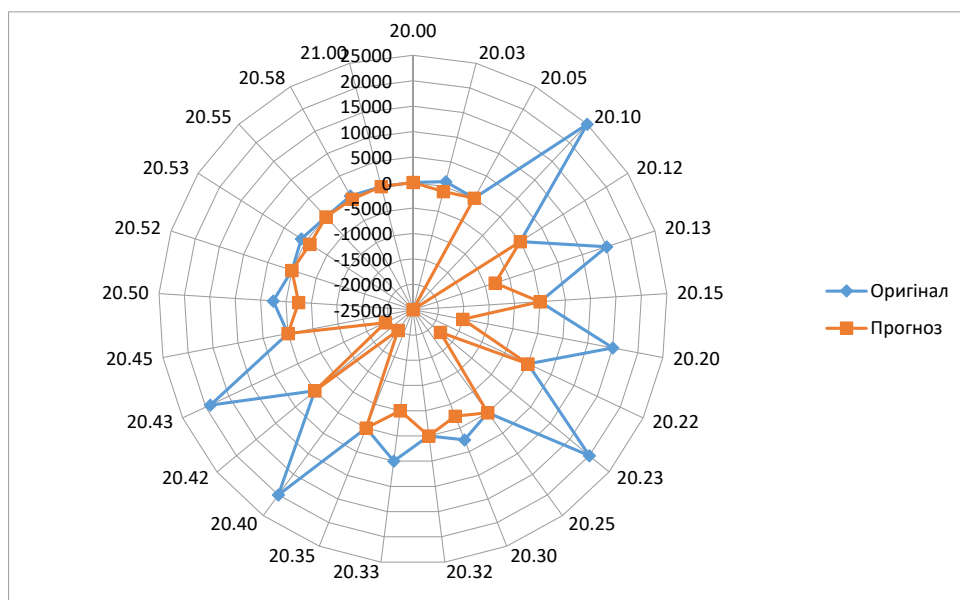


Рис. 6. Ділянка моделі інтегрованої ковзної середньої

Моделі, які навчалися на наборі даних, розділені на 70% тренувань, 10% перехресної перевірки та 20% тесту, показали таку точність (таблиця 1):

Таблиця 1

Порівняльний аналіз моделей

№	Назва моделі	Точність прогнозування (%)
1	Наївний басів класифікатор	96.02
2	Метод опорних векторів	95.50
3	Глибока нейронна мережа	99.01

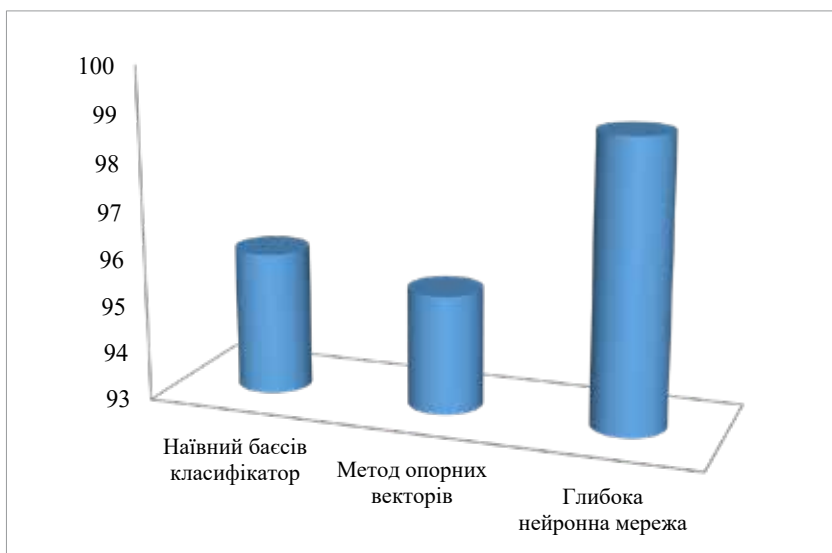


Рис. 7. Гістограма розподілу точності прогнозування моделей у відсотках

Можна зробити висновок, що модель глибокої нейронної мережі була більш ефективною під час моделювання даних. Однак частота появи циклів зниження якості низька порівняно з циклами високої якості. Отже, модель продовжує активно вчитися з новими даними та продовжує оновлювати вагу.

Прогнозна модель побудована для зменшення низькоякісних виробничих циклів та планування технічного обслуговування. Модель використовується для прогнозування якості роботи промислової машини до кінця виробничого циклу.

Систему можна додатково навчити прогнозувати залишковий строк корисного використання промислової машини, перш ніж вона потребуватиме технічного обслуговування або заміни. Використання багатошарових архітектур різних моделей може бути використано для підвищення довіри до класифікації. Крім того, використання проактивного виявлення аномалії може бути використано для передачі сигналів контролеру машини для контролю параметрів машини, щоб запобігти низькій якості виробничих циклів і, отже, збільшити загальну продуктивність.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі досліджено принципи впровадження моделей машинного навчання у сферу інтелектуального обслуговування промислового обладнання. Машинне навчання на основі IoT допоможе подолати суттєві обмеження продуктивності та пов'язані з цим витрати на обслуговування. Моделі, що контролюються, можуть бути використані для

отримання прогнозу, а подальше використання прогнозів та прогнозування забезпечить ефективність виробничого процесу з мінімальними витратами на обслуговування та зменшить погіршення якості продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Олійник О.Ю., Тараненко Ю.К. Система безперервного вібромоніторингу стану технологічного обладнання з машинним навчанням класифікатору. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2020. № 2. С. 18–26.
2. Подскребко О.С., Квашук Д.М., Берідзе-Стаховський А.К. Технології машинного навчання в промисловості з використанням методів розпізнавання образів. *Економіка та держава*. 2019. № 6. С. 46–49.
3. Хома Ю.В. Теорія і методи комп'ютерного опрацювання біосигналів на основі машинного навчання : дис. ... на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.13.05 ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2020. 379 с.
4. Бідяк М.А., Олійник О.В. Застосування машинного навчання в автоматизації промисловості для технічного обслуговування. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» : Матеріали VII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції, (м. Київ, 26 листопада 2020. Київ : НУХТ, 2020. С. 22–24.
5. Agrawal S.S., Patel A. CSG cluster: A collaborative similarity based graph clustering for community detection in complex networks. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. 8(5). 1682–1687.
6. Paul R. Daugherty, Wilson H.J. Human+ machine: Reimagining work in the age of AI. Harvard Business Review Press, 2018.
7. Dhankhad S., Mohammed E., Far B. Supervised machine learning algorithms for credit card fraudulent transaction detection: a comparative study. In *2018 IEEE international conference on information reuse and integration (IRI)*. 2018. July. P. 122–125. IEEE.
8. Agrawal S., Patel A. Clustering algorithm for community detection in complex network: a comprehensive review. *Recent Advances in Computer Science and Communications (Formerly: Recent Patents on Computer Science)*. 2020. 13(4). 542–549.
9. Amruthnath N., Gupta T. A research study on unsupervised machine learning algorithms for early fault detection in predictive maintenance. In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. 2018. April P. 355–361. IEEE.
10. Patel N., Oza P., Agrawal S. Homomorphic cryptography and its applications in various domains. In *International Conference on Innovative Computing and Communications*. Springer, Singapore, 2019. P. 269–278.
11. Machine learning based models for fault detection in automatic meter reading systems. In *2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC)* / Y. Kou et al. 2017. December. P. 684–689. IEEE.
12. Specification of the Application of Vibrodiagnostics in Assessing the State of the Industrial Robot. *Advances in Science and Technology. Research Journal* / N. Daneshjo et al. 2019. 13(1).
13. Puchalski A. A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2015. 56. 173–180.
14. Модель прогнозування геопросторових даних в системах обробки геопросторової інформації. *Системи озброєння і військова техніка* / Г.В. Худов та ін. 2021. № 2 (66). С. 123–128. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.16>

REFERENCES:

1. Oliinyk, O. Yu., & Taranenko, Yu. K. (2020). Systema bezperervnoho vibromonitorynhu stanu tekhnolohichnoho obladnannia z mashynnym navchanniam klasyfikatoru [System of continuous vibromonitoring of a condition of the technological equipment with machine training of the classifier]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, 48(2), 18-26. [in Ukrainian].
2. Podskrebko, O. S., Kvashuk, D. M., & Beridze-Stakhovskiy, A. K. (2019). Tekhnolohii mashynnoho navchannia v promyslovosti z vykorystanniam metodiv rozpoznavannia obraziv [Machine learning technologies in industry using image recognition methods]. *Ekonomika ta derzhava*, (6), 46-49.
3. Khoma, Yu. V. (2020). Teoriia i metody kompiuternoho opratsiuvannia biosyhnaliv na osnovi mashynnoho navchannia [Theory and methods of computer processing of biosignals based on machine learning] (Doctoral dissertation, Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika»). [in Ukrainian].
4. Bidiak M.A., Oliinyk O.V. (2020). Zastosuvannia mashynnoho navchannia v avtomatyzatsii promyslovosti dlia tekhnichnoho obsluhovuvannia [Application of machine learning in industry automation for maintenance]. «Suchasni metody, informatsiine, prohramne ta tekhnichne zabezpechennia system keruvannia orhanizatsiino-tekhnichnymi ta tekhnolohichnymi kompleksamy»: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Internet Conference, (Kyiv, November 26, 2020. Kyiv: NUHT, 2020. [in Ukrainian].
5. Agrawal, S. S., & Patel, A. (2019). CSG cluster: A collaborative similarity based graph clustering for community detection in complex networks. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5), 1682-1687.
6. Paul R. Daugherty, & Wilson, H. J. (2018). *Human+ machine: Reimagining work in the age of AI*. Harvard Business Review Press.
7. Dhankhad, S., Mohammed, E., & Far, B. (2018, July). Supervised machine learning algorithms for credit card fraudulent transaction detection: a comparative study. In *2018 IEEE international conference on information reuse and integration (IRI)* (pp. 122-125). IEEE.
8. Agrawal, S., & Patel, A. (2020). Clustering algorithm for community detection in complex network: a comprehensive review. *Recent Advances in Computer Science and Communications (Formerly: Recent Patents on Computer Science)*, 13(4), 542-549.
9. Amruthnath, N., & Gupta, T. (2018, April). A research study on unsupervised machine learning algorithms for early fault detection in predictive maintenance. In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)* (pp. 355-361). IEEE.
10. Patel, N., Oza, P., & Agrawal, S. (2019). Homomorphic cryptography and its applications in various domains. In *International Conference on Innovative Computing and Communications* (pp. 269-278). Springer, Singapore.
11. Kou, Y., Cui, G., Fan, J., Chen, X., & Li, W. (2017, December). Machine learning based models for fault detection in automatic meter reading systems. In *2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC)* (pp. 684-689). IEEE.
12. Daneshjo, N., Hajduova, Z., Dudaš-Pajerská, E., & Danishjoo, E. (2019). Specification of the Application of Vibrodiagnostics in Assessing the State of the Industrial Robot. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 13(1).
13. Puchalski, A. (2015). A technique for the vibration signal analysis in vehicle diagnostics. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 56, 173-180.
14. Khudov, H. V., Makoveichuk, O. M., Butko, I. M., & Khyzhniak, I. A. (2021). Model prohnozuvannia heoprostorovykh danykh v systemakh obrobky heoprostorovoi informatsii [Model of geospatial data forecasting in geospatial information processing systems]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, (2 (66)), 123-128. <https://doi.org/10.30748/soivt.2021.66.16>.

УДК 303.064

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.4>

ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ КЛАСИФІКАТОРА ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Лумпова Т.І. – кандидат економічних наук, викладач

ВСП «Оптико-механічний фаховий коледж

Київського національного університету імені Тараса Шевченка»

ORCID ID: 0000-0002-7576-4289

Заболотний О.В. – викладач

ВСП «Оптико-механічний фаховий коледж

Київського національного університету імені Тараса Шевченка»

ORCID ID: 0000-0002-4925-1826

Пугачов О.П. – викладач

ВСП «Оптико-механічний фаховий коледж

Київського національного університету імені Тараса Шевченка»

ORCID ID: 0000-0002-3936-3672

Важливим завданням у створенні інформаційних систем для аналітичних досліджень економічних явищ є визначення принципів організації та ведення класифікації економічних показників як їх систематизованого розподілу за певними групами. Зазвичай цей опис оформлюється як класифікатор економічних показників, який містить метайнформацію щодо показника для надання користувачам можливості проведення оцінювання якості показників і визначення можливості їх подальшого спільного використання. Це завдання набуває актуальності під час оброблення показників, які надходять з різних за походженням інформаційних ресурсів. У статті з погляду забезпечення якості даних увагу зосереджено на формування опису економічних показників як складової репозитарію метаданих, призначеного для підтримки керованої метаданими інформаційної системи та забезпечення різних груп користувачів інформацією щодо економічних даних, а також визначено першочергові кроки із створення такого репозитарію.

Запропонований підхід не носить характеру остаточного рішення, а є першим наближенням до визначення принципів створення класифікатору економічних показників. Він потребує подальшого ґрунтовного наукового дослідження, кінцевим результатом якого має стати класифікатор економічних показників як інструмент, що використовується у практичній діяльності аналітиків.

Використання «великих даних» та сховищ даних в аналітичних дослідженнях вимагає перегляду підходів до формування метайнформаційного опису економічних показників для надання користувачам всеохопної інформації щодо цих показників та можливості оцінки їх якості. Запропонована у статті структура метайнформаційного середовища забезпечить формування всебічної інформації щодо даних для аналітичних досліджень та буде корисною при створенні репозитарію метаданих, сховища даних, інформаційного порталу.

Ключові слова: класифікатор економічних показників, метайнформація, репозитарій метаданих, якість даних.

Lumpova T.I., Zabolotnyi V.O., Puhachov O.P. Approaches to creating the classifier of economic indicators in information systems

An important task in creating information systems for analytical research of economic phenomena is to determine the principles of organization and support the classification of economic indicators as systematic distribution these indicators by certain groups. Typically, this description is designed as a classifier of economic indicators, which contains meta-information about the indicator to provide users with the opportunity to assess the quality of indicators and determine the possibility of their further sharing. This task becomes urgent in the processing of indicators that come from information resources of different origins. In terms of data quality assurance, the article focuses on the formation of a description of economic indicators as part

of a metadata repository, designed to support metadata-driven information system and provide various user groups with information on economic data, and identifies priority steps to create such a repository.

The proposed approach is not a final solution, but is the first approximation to determine the principles of creating a classifier of economic indicators. It requires further thorough research, the end result of which should be a classifier of economic indicators as a tool used in the practice of analysts.

Use of "big data" and data warehouse in analytical investigations requires review of the approach to forming meta information description of economic indexes to submit them to the users of comprehensive information concerning these indexes and opportunity to evaluate their quality. Of meta informational environment is offered within the article that shall provide creation of comprehensive information concerning the data of analytical researches and will be useful by forming repository of meta data, data store room, informational portal.

Key words: data quality, Economic Indicators Classifier, meta-information, metadata repository.

У сучасному світі велика кількість даних генерується в мережі Інтернет, зокрема отримується з відкритих джерел даних, таких як соціальні («Твітер», «Фейсбук» тощо) та пошукові мережі (пошук в Інтернеті, перегляд вебсторінок). Об'єм даних та частота їхнього оновлення привели до появи терміну «великі дані» на позначення даних, що характеризуються, з одного боку, великим об'ємом, високою швидкістю його збільшення та різноманітням, а з іншого – слабкою структурованістю або відсутністю структурованості. Використання цих даних як допоміжного джерела інформації для поглиблених аналітичних досліджень у поєднанні з традиційними джерелами інформації (статистичні та адміністративні дані, дані власних виробничих систем) є досить привабливим, оскільки у «великих даних» міститься прихована нова інформація, факти та взаємозв'язки, які раніше не могли бути виявлені. Таке використання вимагає перегляду підходів до формування метайнформації щодо економічних показників (далі – показників) для надання її користувачам, які на її основі зможуть оцінити якість результату об'єднаного використання інформації, отриманої з «великих даних» та традиційних джерел, з точки зору повноти, цілісності, несуперечності та адекватності. Для однозначного визначення таких результатів, їх кодування в документах (звітах, публікаціях тощо) та в інформаційних об'єктах (файли, таблиці баз даних та ін.), здійснення обміну інформацією важливу роль має Класифікатор економічних показників (далі – КЕП), де показник описується через вичерпні метадані.

Ядром сучасних інформаційних систем (далі – ІС), призначених для проведення ґрунтового та всебічного соціально-економічного дослідження стану суспільства, зазвичай є фонд даних, де показники впорядковані за КЕП. Інтеграція даних з різнотипних інформаційних ресурсів ускладнює роботу з ведення КЕП, оскільки в різних джерелах однакові показники можуть по-різному іменуватися, а різні показники можуть мати однакові назви. Для ефективного вирішення проблем із забезпеченням функціонування ІС, надання користувачам доступу до однозначної всеохоплюючої інформації щодо показників та можливості оцінювання якості їх значень важливим є формування детальних метаданих щодо контексту показників, тобто створення метайнформаційного середовища КЕП (далі – МІС КЕП) у вигляді сукупності інформаційних об'єктів (далі – ІО) ІС, які зазвичай входять до репозитарію метаданих (далі – РМД). Для цього доцільно визначити структуру та склад МІС КЕП, звернувшись до досвіду міжнародної статистики, де ці питання ретельно досліджуються останнє десятиріччя, зокрема до використання типової моделі статистичної інформації (Generic Statistical Information Model, далі – GSIM) [1], яка окреслює основні вимоги до метайнформації, яка потрібна

користувачу і необхідна для функціонування ІС з погляду реалізації засобами інформаційних технологій.

В специфікації GSIM докладно викладено принципи формування інформаційних середовищ, аналогічних МІС КЕП, які використовуються у виробництві, організованому за певною процесною схемою, і в яких класифікатори розглядаються у взаємозв'язку з іншими ІО, що беруть участь у виконанні процесних складових (далі – ПС) цієї схеми, які є певними технологічними етапами оброблення інформації, на яких виконуються різні операції з контролю та співставлення даних, їх агрегування, обчислення додаткових показників тощо. Національні статистичні організації мають значний досвід впровадження та використання таких середовищ в інфраструктурі, яка спирається на діючі ІС, що мають свою історичну специфіку. Відповідно, проблематика розвитку метаінформаційної складової таких ІС в різних країнах також має свої особливості, які потрібно враховувати при розробленні власних рішень. Розглядаючи питання, пов'язані з формуванням МІС КЕП, доцільно проаналізувати та врахувати погляд М. Скану та С. Касаграде [2], досвід М. Еріксона [3], фахівців Статистичного бюро Швеції [4], а також для забезпечення контролю якості даних шляхом використання МІС КЕП – **відповідний посібник** Європейської статистичної системи (European Statistical System) [5].

М. Скану та С. Касаграде в [2] розглядають переваги від застосування в ІС стандарту GSIM щодо опису та надання доступу до класифікаторів та змінних. Вони розглядають змінні як асоціацію між одиницею сукупності та концепціями, пов'язаних з групою характеристик цієї одиниці. М. Еріксон в [3] розглядає прикладні аспекти реалізації пошукових функцій для отримання статистичних даних та забезпечення метаданими, які дозволяють дослідити та гармонізувати отримані дані. У роботі також викладаються використані під час дослідження реєстрів принципи зростаючої деталізації метаданих як засобу забезпечення бази для оцінювання якості отриманих даних. З погляду на практичне застосування метаданих, пов'язаних з показниками, важливим є досвід Статистичного бюро Швеції з використання РМД для створення виробничого середовища з високим рівнем стандартизації [4], де впроваджується базована на GSIM модель метаданих, яка зорієнтована на опис вхідних та вихідних інформаційних потоків для ПС, визначаючи різні рівні деталізації описів змінних як значень статистичних показників та вхідної інформації для їх розрахунку.

Потрібно зауважити, що адаптація рішень GSIM до проблематики створення схем МІС КЕП недостатньо висвітлювалась у вітчизняних наукових джерелах. Метою дослідження є розгляд цієї проблематики щодо основних аспектів застосування МІС КЕП для забезпечення контролю якості даних в ІС, керованої метаданими, в також надання користувачам інформації РМД для аналітичних досліджень та оцінювання отриманих даних.

МІС КЕП, надаючи доступ до потрібної метаінформації, має виконувати в ІС подвійну функцію: забезпечення автоматизації виробничого процесу та підтримка проведення контролю якості вироблених даних зацікавленими користувачами. Останнє є предметом розгляду статті. У практичній площині цю функцію МІС КЕП можна уточнити так: забезпечення контролю якості даних, результатом якого має бути визначення даних як релевантних, точних та надійних, своєчасних та пунктуальних, несуперечливих та порівнюваних, доступних та ясних. Спираючись на положення, викладені в [5], розглянемо ці характеристики через призму можливості їх подальшого визначення за допомогою метаінформації щодо економічного показника як якісно-кількісного опису об'єкта аналізу.

1. *Релевантність (relevance)* – якісна оцінка придатності для використання користувачами отриманих значень показників на поточний момент та для потенційного використання в майбутньому. Дані можуть вважатися релевантними, якщо вони є актуальними та належать до одного набору об'єктів. Для аналізу релевантності даних користувач повинен мати доступ до інформації, яка б надавала можливість визначити відповідність даних цілям використання. До цієї інформації, перш за все, належать визначення показників та опис методології їх формування.

2. *Точність (accuracy)* – це ступінь, до якого дані коректно оцінюються або описують величини та характеристики, що підлягають вимірюванню. У разі консолідації в ІС інформації з різних джерел може виникнути проблема оцінювання точності. Механізмами її вирішення є можливість фіксувати експертну оцінку, методологія оцінювання точності, формалізація процесу оцінювання, визначення правил і засобів перехресного аналізу даних при консолідації інформації з різних джерел для унеможливлення суттєвих розбіжностей у значеннях однойменних показників, які відносяться до одного об'єкта спостереження або аналізу на певному часовому проміжку. Причому в ІС повинна існувати описова частина з інформацією, за якою користувачу надається можливість провести оцінювання самостійно, а для автоматизованих процесів оцінювання – формалізована частина. *Надійність (reliability)* передбачає, що первинні дані, проміжні результати та вихідні дані регулярно оцінюються та перевіряються на правильність; похибки вибірки та інші відхилення оцінюються, фіксуються та документуються, виправлення аналізуються для подальшого удосконалення виробничого процесу.

3. *Своєчасність (timeliness)* даних відображає період з початку події або явища, які вони описують і протягом яких ця інформація залишається актуальною, а також вимагає комплектності в часі всіх відібраних джерел даних. *Пунктуальність (punctuality)* даних передбачає існування загальнодоступного списку виробленої продукції і відображає ступінь своєчасності випуску даних. Періодичність випуску продукції має відповідати потребам користувачів, які повинні сповіщатися заздалегідь про можливі відхилення від очікуваного терміну її надання. Для забезпечення своєчасності та пунктуальності в ІС повинен існувати графік виконання робіт зі збирання, оброблення, аналізу та поширення даних/інформації.

4. *Несуперечливість (coherence)* та *порівнюваність (comparability)* відображає зв'язність даних як ступінь їх логічного сполучення, послідовності, взаємної узгодженості та її збереження. Відповідність цим характеристикам означає: 1) відсутність конфліктів між даними та наявність обов'язкових зв'язків між ними; 2) збирання даних за єдиними стандартами щодо визначень, охоплення одиниць, правил класифікування; 3) порівняння даних, які надходять з різних джерел та з різною періодичністю, та погодження їх у процесі обробки; 4) забезпечення узгодженості та однозначності понять щодо досліджуваних об'єктів, показників, застосовуваної термінології та описової інформації про наявні обмеження щодо даних. Порівнюваність також передбачає нерозривність даних як присутність неперервної їх історії на потрібний період часу, а несуперечливість означає відсутність дублювання даних та їх унікальну ідентифікацію, а також неможливість використовувати без пояснення однаковий термін для різних понять або елементів даних (наприклад, показників, запитань та відповідей на них) та різні умови для одного й того ж поняття або елемента даних, вносити без пояснення зміни у методологію, які впливатимуть на значення показників. Роль метаданих у поясненні можливих змін, які з часом виникають в концепціях або методологіях, є визначальною.

5. *Доступність (accessibility)* та *ясність (clarity)* відображають простоту, з якою користувач може зрозуміти, належним чином використати та проаналізувати надані в зручному для нього вигляді економічні дані. Доступність передбачає супроводження даних метаданими та поясненнями для спрощення правильного тлумачення та використання отриманої інформації, а ясність – наявність синтаксичних правил формування описів метаданих, визначення псевдонімів імен показників, підтримку версійності метаописів відповідно до змін визначень показників. Забезпечення доступності і ясності вимагає стандартизації метаданих, уніфікації їх описів, наявності глосарію з призначеними користувачу поясненнями і зручних інструментів навігації та пошуку в доступному користувачу сегменті РМД.

Визначення характеристик якості даних є певним дороговказом щодо складу ІО МІС КЕП, які підтримують описи показників для отримання цих характеристик. Формування МІС КЕП потребує попереднього визначення таких аспектів, важливих для систематизації уявлення про наявні інформаційні ресурси, виявлення потреби в їх уніфікації та стандартизації, для доповнення та розширення існуючої понятійної бази (перелік цифр у дужках наприкінці визначення відповідає номеру характеристик якості даних, що кореспондуються з результатом виконання відповідної дії):

- однозначне іменування показників та формування їх концептуального опису відповідно до деталізації, потрібної для різних груп користувачів. Для кожного показника потрібно виділити основу, яка відображає його сутність як сукупність характеристик та особливостей явища, процесу, об'єкта без зазначення умов часу та місцезнаходження, а також кількісного значення показника [1; 4; 5];

- зв'язок однойменних показників, значення яких отримані з різних джерел та/або сформовані за різними алгоритмами, пояснення щодо можливих розбіжностей у значеннях, можливість порівняння даних за однойменними показниками в різних формах надання/передачі/подання (далі – надання) інформації, за результатами виконання різних видів діяльності (статистичні спостереження, компіляція даних з різних джерел, підготовка публікацій, подання інформації в Інтернеті та ін.) та за різні періоди дослідження. Останнє передбачає зберігання «історії» показника щодо змін у методології його формування або в його характеристиках, а також збереження опису показника при припиненні його дії, якщо існують відповідні йому дані [1; 4; 5];

- склад показників, їх супутня метаінформація з погляду забезпечення інформаційних потреб усіх користувачів, зокрема щодо оцінювання ступеня відповідності значень показників потребам та деталізації запитаної інформації [1; 3; 5];

- склад та структура часових рядів, з відповідними поясненнями щодо формування цих рядів та забезпечення їх неперервності (наприклад, відомості щодо алгоритмів перерахунку) [1; 4; 5];

- ієрархія метаданих та рубрикатор як засіб забезпечення навігації в МІС КЕП у вигляді тематичного каталогу, що складається з рубрик, які відповідають визначеному переліку включених у МІС КЕП типів ІО, і надає можливість подальшої деталізації щодо конкретних примірників ІО. Рубрикатор має стати стартовою точкою, з якої користувач може здійснювати навігацію та пошук потрібної інформації в МІС КЕП [5];

- склад методологічної документації, яка надає повну картину щодо формування, контролю та оцінювання якості значень показника. Первинні та вторинні показники, значення яких надходять із зовнішніх джерел, повинні мати описи, доступні користувачеві разом із описами інструментарію збирання інформації

(наприклад, запитальники, анкети, звітна документація) та форматами надання адміністративних даних, даних організацій-партнерів та інших вторинних показників (наприклад, дані результатів різних статистичних та маркетингових спостережень; інформація, отримана з Інтернету; аналітичні таблиці науково-дослідних організацій), похідні показники, значення яких розраховуються в ІС за певними алгоритмами, повинні супроводжуватися описами цих алгоритмів та посиланнями на документацію щодо методології розрахунку [1; 2; 4; 5];

- склад та структура класифікаторів, довідників, а також іншої нормативно-довідкової інформації, яка задіяна у виробничому процесі та/або необхідна для підтримки МІС КЕП, зокрема для формування описів розрізів надання даних як набору класифікаційних та/або інших якісних ознак, за якими дані групуються при збиранні, обробленні, поширенні; (1, 4, 5)

- інфраструктура підтримки МІС КЕП як сукупність програмних засобів, інформаційного забезпечення та організаційної структури обслуговування МІС КЕП для забезпечення політики управління ресурсами, доступом і конфіденційністю, надання користувачеві зрозумілого та зручного інтерфейсу [5].

Головною метою створення РМД повинна бути підтримка керованої метаданими ІС та забезпечення різних груп користувачів запитуваною інформацією щодо економічних даних, відповідно до наданого користувачам рівня доступу. Повністю керовану метаданими ІС можна визначити як систему, де інформація щодо обмежувальних параметрів оброблення (наприклад, періоду) надається для виконання дій через спеціальні зовнішні описи метаданих не прив'язаному до конкретного виду діяльності модульному програмному компоненту (сервісу) та/або програмному застосуванню. Інфраструктура такої ІС повинна забезпечувати користувачеві зрозумілий та зручний доступ до інформації для проведення аналізу, бути масштабованою і розширюваною як за обсягами даних, потребами інтеграції і природним чином зростаючими аналітичними складнощами, базуючись на політиці управління ресурсами, доступом і конфіденційністю.

Для метаданих таких ІС важливим завданням є забезпечення якості даних, що передбачає вирішення таких основних питань:

- задоволення потреб внутрішніх та зовнішніх користувачів щодо використання продуктів (аналітичних таблиць, звітів тощо) як результатів виробничої діяльності;

- забезпечення якості продуктів відповідно до описів та специфікованих якісних вимог, які включають гармонізацію методів та концепцій наскрізно для всіх продуктів;

- впровадження систематичної перевірки якості продуктів, процесів, рішень та покращення їх якісних показників;

- досягнення внутрішньої ефективності шляхом використання персоналом організації підтримуваних в РМД легко доступних метаданих щодо всіх ІО та процесів.

Для ефективного використання РМД важливим є забезпечення «історії розвитку» економічної інформації в базах та сховищах даних, тобто узгодженої послідовності версій документів, класифікаторів, концептуальних визначень тощо, без чого неможливе формування якісних часових рядів та співставлення інформації за різні періоди. Окрім того, РМД має стати інструментом підтримки семантичної та технічної сумісності як здатності інформаційно-комунікаційних технологій систем і бізнес-процесів, які вони підтримують, до обміну даними, а також забезпечення обміну інформацією та знаннями. Семантична сумісність

має забезпечувати зрозумілість точного значення інформації для обміну з будь-якими іншими програмними застосуваннями, які не розроблювалися спеціально для цієї мети. Це дозволяє системам об'єднати отриману інформацію з іншими інформаційними ресурсами і обробляти її осмисленим чином. Тому семантична сумісність є необхідною умовою для багатомовного надання послуг користувачеві через зовнішній інтерфейс. Технічна сумісність охоплює технічні питання узгодження комп'ютерних систем і послуг, що надаються системами, зокрема, включає відкриті інтерфейси, послуги приєднання до сервісів надання, обміну та оброблення інформації, інтеграції даних і проміжного програмного забезпечення, засоби доступу до даних і метаінформації, служби безпеки та інші аспекти.

Реалізація зазначених вище функцій РМД вимагатиме таких попередніх дій для розроблення ефективного інструментарію ведення РМД:

1) каталогізації метаданих, забезпечення сталого місця зберігання всіх їх версій (зокрема класифікаторів, довідників, використовуваних нормативів та ін.) для визначення шляхів доступу до них інструментарію пошуку та перегляду. Останнє безпосередньо стосується впровадження сервіс-орієнтованої архітектури, оскільки буде вимагати створення окремого сервісу для перегляду тієї чи іншої метаінформації (наприклад, довідників в текстовому форматі або класифікаторів в БД);

2) каталогізації економічних даних, тобто створення або відповідної складової в загальному каталозі (що краще), або окремого каталогу з визначенням інструментів доступу (відповідних сервісів) до цих даних, а також вирішення питань семантичної та технічної сумісності;

3) визначення складу груп метаданих по ІО для інтеграції до РМД відповідно до рекомендацій [1], наприклад, метадані опису технологічного процесу для організації роботи платформи зв'язку як засобу активації сервісів з певними значеннями параметрів, де представлення складових технологічного процесу надає послідовність появи подій, які є умовою активації конкретного сервісу;

4) створення електронного архіву документів (включно з публікаціями), тобто зосередження в одному місці та упорядкування існуючих документів щодо організації та виконання виробничого процесу, та формування відповідного каталогу;

5) формування тезаурусу, за яким має виконуватися пошук документів та потрібної метаінформації, зокрема й за каталогами;

6) розроблення інструментів для тематичних пошуків таких як список ключових слів/індексів у поєднанні з тематичними рубриками. Це потребує громіздкої попередньої роботи щодо визначення напрямів пошуку: за показниками, за конкретними видами діяльності, за видами одиниць спостереження, їх характеристиками тощо;

7) опис з'єднання між даними та метаданими для створення «семантичної мережі» ІО різних типів із визначенням понятійних зв'язків між ними, а також створення інструменту доступу до знайденої інформації. Наприклад, визначення інформаційного ланцюга від вебсторінок публікації до опису спостереження, з яких отримані статистичні дані, та характеристик якості (звіт про якість), а також відповідна інформація за попередні періоди, яка зазвичай є часто запитуваною;

8) визначення засобів адміністрування та повноважень доступу для різних категорій користувачів (наприклад, широкий доступ для зовнішнього користувача через Інтернет до визначеного кола ресурсів РМД, вузький доступ для зовнішнього користувача до РМД через внутрішню пошукову систему, доступ внутрішніх користувачів з різними повноваженнями щодо дій з інформацією РМД).

Потрібно зауважити, що оскільки важливою складовою РМД є класифікатор економічних показників з прив'язаними до нього описами інструментаріїв збирання даних та формування результатів, то передбачається, що ця інформація є систематизованою та структурованою. Цей аспект потрібно постійно тримати в полі зору під час розроблення/модернізації РМД.

Використання РМД як єдиної метаінформаційної бази, заснованої на єдиній системі класифікації та кодування інформації, разом із запровадженням стандартизації та уніфікації опису та виконання процесної схеми організації виробництва, забезпечить цілісність ІС, буде сприяти створенню в майбутньому нових функціональних можливостей, підсистем та інших складових частин без порушення функціонування автоматизованої системи ведення ІС, а також надасть можливість використання типових, стандартних та уніфікованих елементів і проектних рішень, що оптимізує технологію функціонування ІС, уніфікує методи та прийоми, які застосовує користувач при роботі з ІС. Окрім того, такий підхід дасть змогу встановлювати засоби безпеки обробки інформації на рівні РМД, що гарантуватиме захист інформаційних потоків у процесі обробки, збереження та обміну інформації з допомогою розподілу доступу та повноважень у системі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Generic Statistical Information Model (GSIM): Statistical Classifications Model. Version 1.1, December 2013 (Links updated Dec 2016). URL: [https://statswiki.unece.org/display/gsim/Statistical+Classification+Model?preview=/97356504/128516177/Statistical%20Classification%20Model%201_1%20\(with%20updated%20links\).docx](https://statswiki.unece.org/display/gsim/Statistical+Classification+Model?preview=/97356504/128516177/Statistical%20Classification%20Model%201_1%20(with%20updated%20links).docx) (дата звернення: 17.08.2021).
2. Mauro Scanu, Cecilia Casagrande. GSIM and the Sistema Unitario dei Metadati: State of application of the standard / *United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop on Implementing Standards for Statistical Modernisation*. Geneva, Switzerland, 21–23 September 2016. – 12 p. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.58/2016/mtg4/Paper_17_Italy_-_The_Generic_Statistical_Information_Model__GSIM__and_the_Sistema_Unitario.pdf (дата звернення: 17.08.2021).
3. Magnus Eriksson The Register Utilisation Tool: A Practical implementation of GSIM as support in register-based research / *United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop on Implementing Standards for Statistical Modernisation*. Geneva, Switzerland, 21–23 September 2016. – 11 p. – URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.58/2016/mtg4/Paper_15_Sweden.pdf (дата звернення: 17.08.2021).
4. Stefan Berg, Klas Blomqvist, Eva Holm, Lars-Göran Lundell, Henrik Lundström, Thomas Nyberg and Jens Olofsson. Case Study: Use of GSIM – Statistics Sweden's model for a Central Metadata Repository. / *United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop of the Modernisation Committee on Standards: International Collaboration for Standards-Based Modernisation* (Geneva, Switzerland, 5–7 May, 2015). – 18 p.
5. ESS Handbook for Quality Reports. 2014 Edition. / Eurostat – 166 p. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/6651706/KS-GQ-15-003-EN-N.pdf/18dd4bf0-8de6-4f3f-9adb-fab92db1a568?t=1424710082000> (дата звернення: 17.08.2021).

REFERENCES:

1. Generic Statistical Information Model (GSIM): Communication paper for a general statistical audience. Prepared by the High-Level Group for the Modernization of Statistical Production and Services (ECE/CES/2014/2); United Nations Economic

Commission for Europe Conference of European Statisticians Sixty-second plenary session (Paris, 9–11 April 2014). – 37 p. – [Electronic resource]. www.unece.org. Retrieved from [https://statswiki.unece.org/display/gsim/Statistical+Classification+Model?preview=/97356504/128516177/Statistical%20Classification%20Model%201_1%20\(with%20updated%20links\).docx](https://statswiki.unece.org/display/gsim/Statistical+Classification+Model?preview=/97356504/128516177/Statistical%20Classification%20Model%201_1%20(with%20updated%20links).docx) [in English].

2. Mauro Scanu, Cecilia Casagrande. GSIM and the Sistema Unitario dei Metadati: State of application of the standard / United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop on Implementing Standards for Statistical Modernisation (Geneva, Switzerland, 21–23 September 2016). – 12 p. – [Electronic resource]. www.unece.org. Retrieved from http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.58/2016/mtg4/Paper_17_Italy_-_The_Generic_Statistical_Information_Model_GSIM_and_the_Sistema_Unitario.pdf [in English].

3. Magnus Eriksson The Register Utilisation Tool: A Practical implementation of GSIM as support in register-based research / United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop on Implementing Standards for Statistical Modernisation (Geneva, Switzerland, 21–23 September 2016). – 11 p. – [Electronic resource]. www.unece.org. Retrieved from http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.58/2016/mtg4/Paper_15_Sweden.pdf [in English].

4. Stefan Berg, Klas Blomqvist, Eva Holm, Lars-Göran Lundell, Henrik Lundström, Thomas Nyberg and Jens Olofsson. Case Study: Use of GSIM – Statistics Sweden's model for a Central Metadata Repository. / *United Nations Economic Commission for Europe Conference of European Statisticians Workshop of the Modernisation Committee on Standards: International Collaboration for Standards-Based Modernisation* (Geneva, Switzerland, 5 – 7 May, 2015). – 18 p. [in English].

5. ESS Handbook for Quality Reports. 2014 Edition. / Eurostat – 166 p. [Electronic resource]. www.ec.europa.eu. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/6651706/KS-GQ-15-003-EN-N.pdf/18dd4bf0-8de6-4f3f-9adb-fab92db1a568?t=1424710082000> [in English].

УДК 004.94:517.977

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.5>

СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ ПИЛОВЛОВЛЮЮЧОЇ УСТАНОВКИ З КОНТРОЛЕМ ЇЇ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В УМОВАХ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Сердюк О.Ю. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0003-0505-0800

Маринич І.А. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-9036-8532

Стаття присвячена дослідженню технологічного процесу очищення газів від пилу електрофільтрами в умовах цементного виробництва з метою розробки автоматизованої системи контролю та візуалізації технологічних параметрів, що дає змогу контролювати процес у режимі реального часу, вчасно визначити аварійні ситуації. Це питання є актуальним з огляду на те, що цементна промисловість з кожним роком збільшує свою виробничу потужність, а зменшення викидів в атмосферу запиленних та отруйних газів дозволить уникнути виплати штрафів та зменшити виплати за шкідливі викиди. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано технологічний процес і роботу наявної системи управління обезпиленням газів та визначено, що цю систему можна вдосконалити шляхом застосування нових підходів і методів управління та візуалізації роботи самої системи у режимі реального часу. Досліджено схему руху часток в електрофільтрі та схему руху газу під дією електричного вітру, на основі цього аналізу виконано математичний опис технологічного процесу та розроблено алгоритми керування струшуванням, в якому передбачено корекцію сили струшування, що дає змогу проводити ефективні струшування з мінімальним руйнуванням обладнання електрофільтра. Розроблена система контролю та візуалізації відповідає трирівневій структурі, де на першому рівні виконується вимірювання параметрів технологічного процесу, на другому реалізується логічне управління механізмами згідно алгоритмів керування, а на третьому відбувається взаємодія системи управління з операторами, накопичується та обробляється архівна та оперативна інформація про стан обладнання. Практичне значення полягає в застосуванні отриманої автоматизованої системи контролю та візуалізації основних технологічних параметрів для отримання оперативної інформації у реальному часі як самого технологічного процесу, так і оптимізації режиму струшування електродів при очищенні газів холодного кінця печі від пилу в електрофільтрі.

Ключові слова: візуалізація, електрофільтр, коронуючі та осаджувальні електроди, очищення газів, ПЛК, система керування.

Serdiuk O.Y., Marynych I.A. Visualization system of dust collection equipment operation with control of its main technological parameters in conditions of cement production

Article is devoted to study of gas purification technological process by electrofilters in conditions of cement production in order to develop automated control system and technological parameters visualization, which allows to control process in real time, to identify emergencies. This issue is urgent task given that cement industry is increasing its production capacity every year, and reducing emissions of dusty and toxic gases will avoid paying fines and reduce emissions payments. To achieve this goal was analyzed technological process and existing gas dedusting control system operation and it is determined that the existing system can be improved by applying new approaches and methods of control and visualization of system's work by itself in real time. Scheme of particle motion in electrofilter and scheme of gas motion under the action of electric wind are investigated, on basis of which technological process mathematical description was executed and shaking control in which correction of shaking force that allows

to carry out effective shaking at minimum destruction of electrostatic precipitator equipment. The developed control and visualization system corresponds to three-level structure, where at the first level technological process parameters are measured, at the second level logical control of mechanisms according to control algorithms is realized, and at the third level control system interacts with operators, collected and processed and archived online information about status of equipment. The practical significance lies in application of automated control system and visualization of main technological parameters to obtain real-time operational information as process itself, and to optimize electrodes shaking mode when cleaning the gases of cold end of furnace from dust in electrofilter.

Key words: *visualization, electrofilter, crowning and sediment electrodes, gas purification, plc, control system.*

Вступ. Одним із головних джерел виділення пилу в виробництві цементу і забруднення повітряного басейну є гази, що відходять від обортових печей обжигу клінкеру. Величина співвідношення пилу з газами залежить від багатьох факторів та може досягати 25% від ваги шихти.

Зважаючи на характеристики пічних газів та технологічні умови виробництва, для очищення використовуються електрофільтри. Під час проходження запиленого газового потоку через потужне електричне поле частки пилу отримують електричний заряд та прискорення, що змушують їх рухатись уздовж силових ліній поля з подальшим осадженням на осаджуваних електродах. Отже, агрегат живлення фільтру є компонентом, важливим для його якісної роботи. Для видалення пилу з осаджуваних электродів необхідно виконувати струси зі значним прискоренням. Але це суперечить необхідності забезпечення надійності та довговічності обладнання електрофільтрів. Розв'язання цього завдання допоможе значною мірою покращити процес фільтрації та запобігти передчасному виходу зі строю обладнання.

Постановка проблеми. За останні роки техніка пиловловлення на промисловості постійно вдосконалювалась, і комплекс пиловловлюючих апаратів, що застосовується сьогодні, дає змогу отримати за умови правильної його експлуатації цілком задовільний ефект. Однак досягненні результати не можуть вважатися граничними. Це підтверджується кількома факторами.

По-перше, цементна промисловість з кожним роком збільшує свою виробничу потужність, при цьому ріст досягається головним чином за рахунок підвищення випуску продукції шляхом удосконалення діючих агрегатів. Таким чином, зі зростанням продуктивності агрегатів зростає й абсолютна кількість уловленого пилу, а тому підвищення ступеня фільтрації очисних пристроїв навіть на долю відсотка буде сприяти підвищенню якості продукції, що виготовляється, на величину, що оцінюється мільйонами гривень.

По-друге, вдосконалення техніки обезпилення диктується вимогами охорони здоров'я людей і природи, що виражається положеннями санітарного законодавства України, сформульованих у санітарних нормах проектування промислових підприємств.

По-третє, виконання вимог санітарного законодавства та зменшення викидів в атмосферу запилених та отруйних газів (таких як сполуки азоту, окиси сірки, окис вуглецю) допоможе уникнути виплати штрафів, які досягають сотень тисяч гривень, та зменшити виплати за шкідливі викиди.

Таким чином, дослідження питань процесу очищення газів холодного кінця печі від пилу в електрофільтрі, пов'язаних з розробкою системи контролю та візуалізації технологічних параметрів, що дає змогу контролювати процес в режимі реального часу, вчасно визначити аварійні ситуації є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виявлення недоліків роботи наявної системи та знаходження оптимальних інженерних рішень були досліджені різні типи промислових електрофільтрів [1; 2]. На сьогодні найбільшого поширення набули електрофільтри серій УГ, ЕГА, УГТ, УВ та ДМ, що відрізняються між собою типом розташування електродів (горизонтальне або вертикальне) та рівнем температури газів, що очищуються. Для оптимізації роботи таких фільтрів використовують різні системи, наприклад, такі як система автоматичної підтримки напруги в межах пробивної та зниженої на задану величину [3], система автоматичного регулювання напруги за частотою іскрових розрядів в електрофільтрі [4], система автоматичного регулювання напруги шляхом фіксації та підтримки на електродах максимальної середньої напруги. Слід зазначити, що такі системи не дають необхідної інформації про стан обладнання у реальному часі та потребують значних фінансових ресурсів, тому доцільніше вдосконалити наявні системи шляхом розробки системи візуалізації та контролю її технологічних параметрів.

Виклад основного матеріалу досліджень. У результаті проведеного аналізу роботи чинної системи управління системою обезпилення газів в умовах Криворізького цементного комбінату визначено, що установку можна вдосконалити шляхом застосування нових підходів та методів в очищенні газів. Дослідження різних типів промислових електрофільтрів дало можливість виявити найкращі способи роботи, характеристики обладнання, та технологічні параметри, що можуть бути досягнені в оптимізованій системі керування. Вибір агрегату живлення електрофільтру з автоматичним керуванням є важливою проблемою при вдосконаленні системи. Окрім того, що від його якісної роботи безпосередньо залежить якість вихідного продукту процесу фільтрації, агрегат живлення повинен бути ретельно вибраним для максимального спрощення структури та математичного забезпечення розроблюваної системи.

Розрахунок процесу електричної очистки газів від завислих часток можна розділити на 3 стадії:

- розрахунок зарядки завислих часток;
- визначення руху заряджених часток до осаджувальних електродів під дією сил електричного поля;
- осадження на електродах заряджених рухомих частинок.

Зарядка великої частки відбувається до стану, в якому сумарне електричне поле у всієї її поверхні стає близьким до нуля.

Як показали розрахунки Патенсьє і Моро-Ано [3], до того часу частка отримує максимальний заряд (в К):

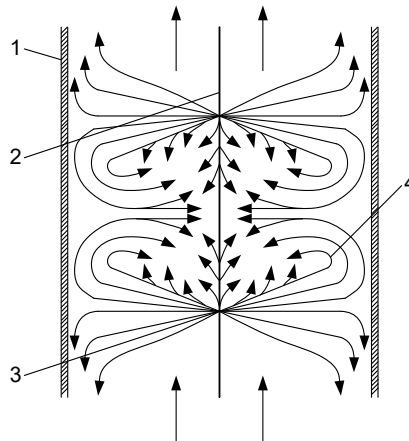
$$q_m = ne = 4\pi\epsilon_0(1 + 2\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2})E_j r^2 = 4\pi\epsilon_0\delta E_j r^2 \quad (1)$$

де n – число елементарних зарядів; e – величина заряду електрона, К; ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму або електрична стала, Ф/м.; ϵ – відносна діелектрична проникність речовини частки; δ – показник діелектричних властивостей частки; E_j – напруженість електричного поля коронного розряду в області проходження частки, В/м; r – радіус частки, м.

В електричному полі коронного розряду великі частки заряджаються іонами, що рухаються під дією сил електричного поля, а дрібні частки – іонами, що беруть участь у тепловому русі газових молекул. Зависла в газах частка, надходячи в електрофільтр, здобуває електричний заряд, що досягає значення, близького до

максимального, за дуже малу частину секунди. Оскільки частка в полі електрофільтру звичайно перебуває протягом декількох секунд, можна вважати, що заряд її в електрофільтрі має постійне, таке, що не залежить від часу, значення (обумовлене величиною частки й напруженістю електричного поля).

Механічний вплив потоку іонів на молекули газу в електричному полі, що викликає рух газу в напрямку до осаджувального електрода, звється електричним вітром. Електричний вітер виникає при розряді з вістря і починається від коронуючих точок (Рис. 1).



1 – осаджувальний електрод; 2 – коронуючий електрод;
3 – коронуюча точка; 4 – траєкторії руху молекул газу.

Рис. 1. Схема руху газу під дією електричного вітру

Основною силою, що діє на частку в електрофільтрі, є кулонівська сила дії електричного поля на заряд частки (у Н) [1]:

$$F = q_m E_{oc} = neE_{oc} = 4\pi\epsilon_0 E_z E_{oc} r^2 \delta \quad (2)$$

де E_{oc} – напруженість електричного поля осадження, В/м; E_z – напруженість електричного поля зарядки, В/м; n – число елементарних зарядів на частці; e – заряд електрону, к; r – радіус частки, м; δ – показник діелектричних властивостей частки.

Ця сила поза областю корони спрямована до осаджувального електрода. В області ж корони деякі частки заряджаються позитивно і рухаються до коронуючого електрода. Частки осаджуються на електродах електрофільтру під впливом сил електричного поля. Основна кількість часток осаджується на поверхні осаджувальних електродів. Осадження заряджених часток залежить від багатьох факторів: провідності й розміру часток, швидкості газів, їхньої температури і вологості, стану поверхні осаджувальних електродів тощо.

Для видалення пилу з осаджувальних електродів необхідно виконувати струси зі значним прискоренням. Але це суперечить необхідності забезпечення надійності та довговічності обладнання електрофільтрів. Тому дуже важливо знайти оптимальні режими струшування пилу, що залежать від фізико-хімічних властивостей пилу, а отже, від його здатності до осаджування на електродах. Зазвичай ці режими визначаються експериментальним шляхом. Очевидно, для підвищення

надійності роботи електрофільтра та зниження вторинного віднесення пилу за постійних показників забрудненості повітря та властивостей часток струшування повинно проводитися періодично [5]. У випадку змінного процесу забруднення цей метод не буде виправдовувати себе: або газ не фільтруватиметься належним чином, або відбуватиметься часте струшування і як наслідок – передчасний вихід з ладу обладнання, що піддається впливу вібрацій. Також метод не враховує нерівномірність осідання пилу на електродах залежно від місця розташування: на електродах, що знаходяться в передній частині робочої камери фільтра, пилу осідатиме більше, ніж на тих, що розташовані в задній частині. Розв'язанням цих завдань може бути визначення маси пилу, що осів на електроді, за допомогою тензодатчика. Сигнал з датчика надходить до промислового контролера, який у разі досягнення встановленої межі приводить у дію виконавчий механізм і відбувається струшування.

Осаджувальні електроди обтрушуються шляхом передання їм такого збурюючого зусилля, що здатне відірвати шар пилу, накопичений на поверхні електрода. За більших прискорень, що надаються електроду, очищення його поверхні відбувається краще. Однак це призводить до механічних ушкоджень самих електродів та систем їх підвішування. Пошуки оптимального розв'язання проблеми призвели до розробки великої кількості систем та механізмів обтрушування. На практиці широкого застосування набули системи ударно-молоткової дії, пневматичні, магнітно-імпульсні та вібраційні [1].

У результаті аналізу схеми руху часток в електрофільтрі та схеми руху газу під дією електричного вітру, на основі якого було виконано математичний опис технологічного процесу, застосовано метод струшування осаджувальних електродів, що базується на визначенні зміни ваги електродів за рахунок осадженого пилу. Розроблений алгоритм керування струшуванням (Рис. 2), в якому передбачено корекцію сили струшування, що надає можливість проводити ефективні струшування з мінімальним руйнуванням обладнання електрофільтра.

Першим кроком в алгоритмі виконується завантаження параметрів системи, які були отримані під час попередньої роботи. Якщо програма виконує цикл уперше, то параметри можуть бути встановлені на середнє значення.

У блоці 3 відбувається опитування датчика. Отримана величина ваги порівнюється із встановленим граничним значенням. Якщо вага перевищує встановлену, то кількість пилу на електродах досягла тієї величини, коли її потрібно струшувати. Формуються вихідні керуючі впливи: імпульс та сила удару. Після струшування знову знімається інформація з датчика та перевіряється, чи було струшено весь накопичений пил. Якщо вага, виміряна датчиком, перевищує вагу чистих електродів (блок 7), тобто сили удару не вистачило для повного очищення електроду, то збільшується величина сили удару (блок 8), інакше система переходить до наступного циклу. Перед вимкненням системи отримані параметри щодо сили удару зберігаються до енергонезалежної пам'яті контролера. Блоки 3–8 повторюються послідовно для кожного датчика. Сили удару для виконавчих механізмів повинні зберігатися в різних байтах.

Це обумовлено тим, що на різні електроди можливе осідання частинок пилу з різними властивостями, а отже, впливи мають різнитися між собою. Таким чином, в алгоритмі передбачено корекцію сили струшування, що дає змогу проводити ефективні струшування з мінімальним руйнуванням обладнання електрофільтра.

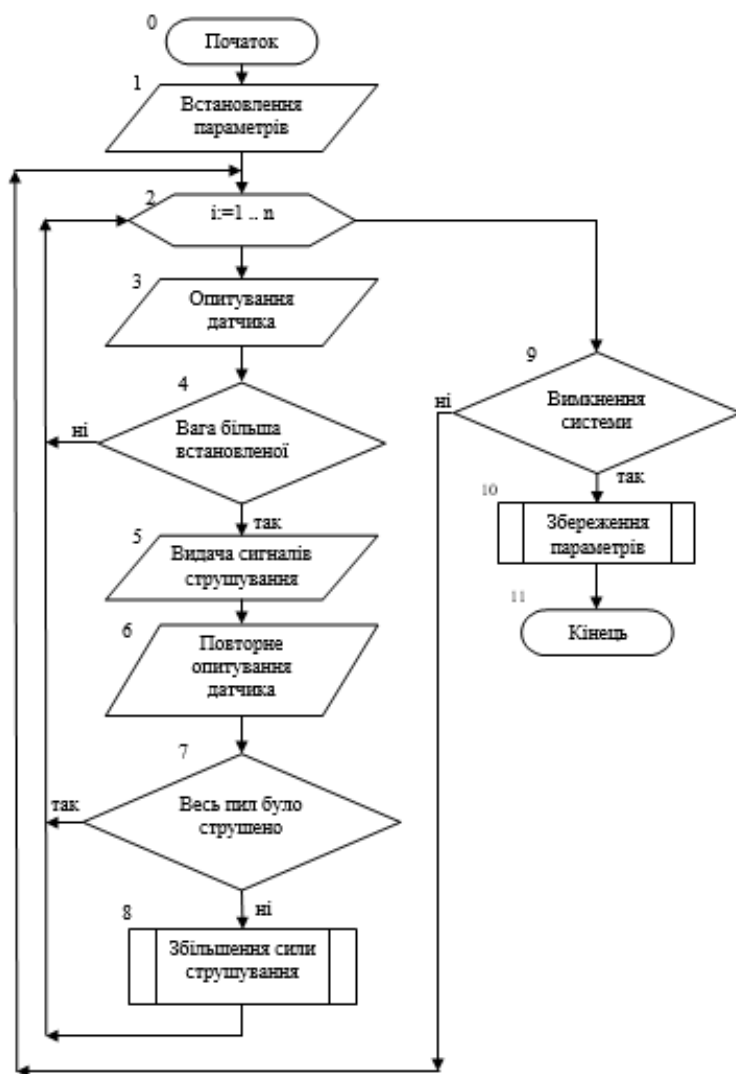


Рис. 2. Алгоритм керування струшуванням

Якщо струшування проводити занадто часто, то струшений пил буде забруднювати очищені гази. Для розв'язання такого завдання стане в нагоді алгоритм визначення режимів струшування (Рис. 3), який забезпечить виявлення оптимального режиму роботи механізму обтрушування електродів.

Система буде збільшувати критичну масу електродів, при якій відбувається струшування, від мінімальної до максимальної з визначеним кроком. Водночас реєструється запиленість очищених газів. Можливі випадки, коли залежно від фізико-хімічних властивостей пилу струшування необхідно проводити частіше, ніж звичайно. Якщо цього не робити, то осаджений пил буде змінювати електричне поле і процес очищення погіршиться, або матиме місце явище повторного уносу часток.

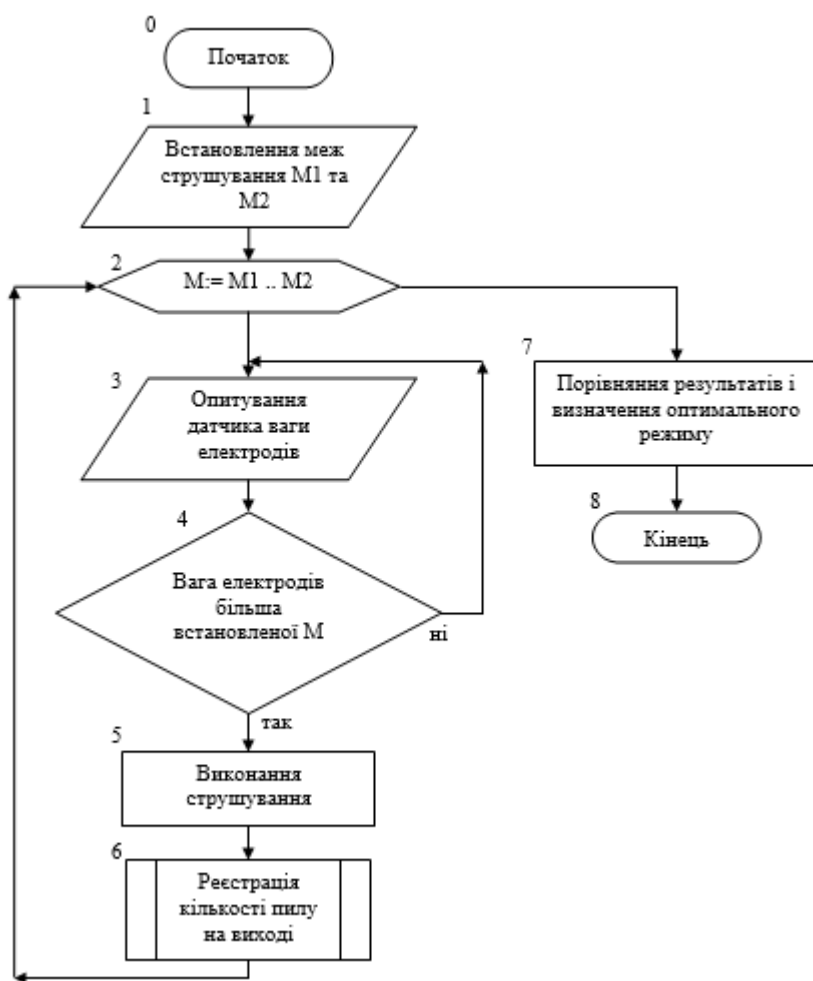


Рис. 3. Алгоритм визначення режимів струшування

Для реалізації АСУТП електрофільтра передбачається використання комплексу технічних засобів фірми Schneider Electric. Для комунікації апаратних засобів автоматики обрано протокол Unitelway. Його здатність працювати в різних сферах передачі даних, легкість при налаштуванні та підтримка багатьма провідними виробниками стали переважними аргументами на користь цього протоколу. Для побудови SCADA-системи очищення газів від пилу в умовах ПАТ «ХайдельбергЦемент Україна» оптимальним рішенням є програмний додаток Monitor Pro [6].

На запропонованій екранній формі (Рис. 4) представлено основні вузли системи пиловловлення. Ліворуч розташована колонка охолодження газів, яка виконує зрошування газів водою для пониження їхньої температури та набуття ними потрібної вологості. Робота кожної форсунки відображається на екрані.

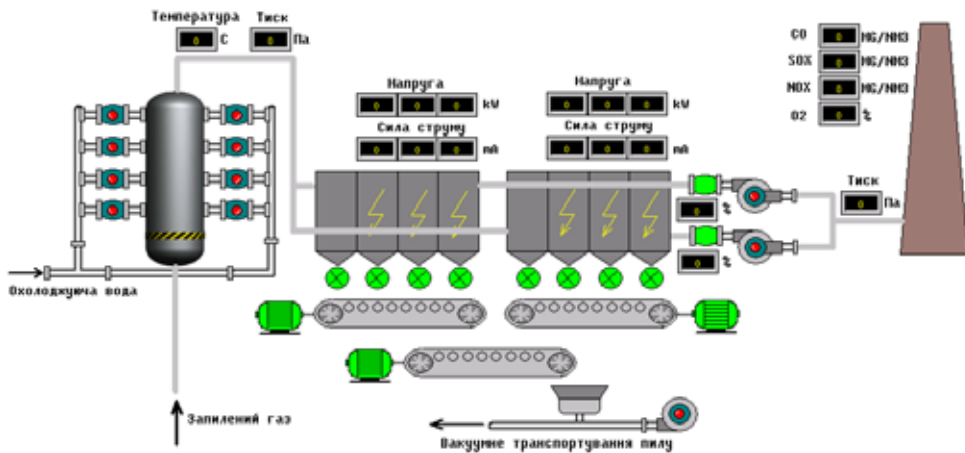


Рис. 4. Екранна форма програмного додатка

На вході в електрофільтри вимірюється температура та тиск газів. Відображується напруга та сила струму у кожному полі електрофільтра. Відбувається спостереження за роботою системи механізмів пиловидалення. На виході електрофільтрів розташовані кінцеві димососи, тяга яких регулюється процентним відношенням відкриття шиберів. Також вимірюється тиск газів після димососів. На екрані відображається робота димососів та процент відкриття шиберів. На виході газів в атмосферу встановлено зонд газоаналізатора. Останній передає інформацію для індикації про хімічний склад газів.

Незважаючи на те, що електрофільтри не можуть проводити хімічне очищення газів, індикація надмірного забруднення газами азоту та сірки важлива для своєчасного знаходження помилки в технології виготовлення цементу. Тож праворуч на формі відображається процентний вміст шкідливих речовин, що мають гранично допустиму концентрацію, в очищених газах. За необхідності дізнатися інформацію про стан шкідливих викидів за окремий проміжок часу на екран може бути викликаний тренд.

Висновки. Для побудови SCADA-системи очищення газів від пилу в умовах цементного виробництва оптимальним рішенням є програмний додаток Monitor Pro. Потужні функціональні можливості, широка сфера застосування, переважна кількість сумісних апаратних засобів автоматики роблять Monitor Pro лідером у цій галузі. Однією з його важливих особливостей є можливість побудови інтегрованої бази даних роботи системи, на основі даних якої можна визначати оптимальні режими керування системою струшування електродів. Запропонована екранна форма дозволяє в режимі реального часу слідкувати за роботою механізмів системи та зміною технологічних параметрів.

Система, створена на запропонованих апаратних рішеннях, дозволяє керувати технологічним процесом очищення газів від пилу в реальному масштабі часу. Вона забезпечує легку та зручну взаємодію технологічного персоналу стану з комплексом технічних засобів, спрощує процес управління та обслуговування. Впровадження системи дозволить покращити техніко-економічні показники роботи електрофільтру та вивести процес керування на якісно новий рівень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Алиев Г.М., Гоник А.Е. Электрооборудование и режимы питания электрофильтров. Москва : Энергия, 1981. 264 с.
2. Бакланов Г.М., Перли С.Б., Эдельман И.Е. Снижение запыленности на цементных заводах. Киев : Будівельник, 1985. 93 с.
3. Ганз С.Н. Очистка промышленных газов. Днепропетровск : Промінь, 1997. 114 с.
4. Коровин В. Г. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. Санкт-Петербург : Промиздат, 2010. 197 с.
5. Переvezенцев А.В. Электрическая очистка газов в цементной промышленности. Москва : Издательство литературы по строительству, 1989. 112 с.
6. Ken Barnes, Briam Johnson, Reva Nickelson. Review of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, 2004.

REFERENCES:

1. Aliev G.M., Gonik A.E. (1981) Elektrooborudovanie i rezhimy pitaniya elektrofil'trov [Electrical equipment and power supply modes of electrofilters]. Moskva: Energiya [in Russian].
2. Baklanov G.M., Perli S.B., Edel'man I.E. (1985) Snizhenie zapylennosti na cementnyh zavodah [Dust reduction in cement plants]. Kiev: Budivel'nik [in Ukrainian].
3. Ganz S.N. (1997) Ochistka promyshlennyh gazov [Purification of industrial gases]. Dnepropetrovsk: Promin' [in Ukrainian].
4. Korovin V. G. (2010) Sistemy programmnoho upravleniya promyshlennymi ustanovkami i robototekhnicheskimi kompleksami [Software control systems for industrial equipment and robotic complexes]. Sankt-Peterburg: Promizdat [in Russian].
5. Perevezencev A.V. (1989) Elektricheskaya ochistka gazov v cementnoj promyshlennosti [Electrical gas cleaning in the cement industry]. Moskva: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu [in Russian].
6. Ken Barnes, Briam Johnson, Reva Nickelson. (2004) Review of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems. Idaho National Engineering and Environmental Laboratory.

УДК 004.942;519.6

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.6>

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФРОНТУ ЗА НЕІЗОТЕРМІЧНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Фуртат І.Е. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри теплоенергетики теплоенергетичного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-2197-8150

Фуртат Ю.О. – кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник відділу моделювання
енергетичних процесів і систем
Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0002-0775-5460

Динаміка об'єктів з розподіленими параметрами описується диференціальними рівняннями в частинних похідних параболічного типу, які з крайовими умовами є математичними моделями багатьох нестационарних нелінійних процесів. Математичними моделями тепломасопереносу є системи рівнянь параболічного типу з такими ж граничними умовами.

Усі реальні процеси, як правило, є нелінійними. Вибір оптимального методу розв'язання тієї або іншої задачі теорії поля і технічного засобу для її реалізації є складним питанням.

У наш час найбільше поширення при математичному моделюванні складних об'єктів з розподіленими параметрами одержали методи дискретизації математичної моделі шляхом просторово-тимчасового квантування. Представлення математичної моделі об'єктів з розподіленими параметрами системами звичайних диференціальних або алгебраїчних рівнянь дозволяє моделювати їх на аналогових і цифрових обчислювальних машинах.

Можна прийняти, що час роботи циркуляційної системи обмежений часом досягнення температурним фронтом експлуатаційної свердловини. Проведеними дослідженнями [1] встановлено, що теплоприток від гірського масиву, що оточує шар, у реальних пластових умовах не виявляє істотного впливу на час роботи циркуляційної системи в постійному температурному режимі. Тому в розрахунках теплопритоком нехтуємо. У добуванні геотермальної енергії має місце напірна фільтрація, при якій величина μ має значення порядку 10^{-6} м^2 . У зв'язку з цим система виходить на стаціонарний режим за час, малий у порівнянні з часом її роботи.

У статті пропонується метод моделювання руху температурного фронту з використанням диференціальної моделі з переходом до кінцево-різницевої. Після обчислення першого наближення значення швидкості руху холодної води це значення уточнюється з використанням ітерацій за різними параметрами моделі.

Ключові слова: математична модель, температурний фронт, теплоносії.

Furtat I.E., Furtat Yu.O. Method of simulation of temperature front movement during non-isothermal filtration

The dynamics of objects with distributed parameters is described by differential equations in partial derivatives of the parabolic type, which with boundary conditions are mathematical models of many nonstationary nonlinear processes. Mathematical models of heat and mass transfer are systems of equations of parabolic type with the same boundary conditions.

All real processes are usually nonlinear. The choice of the optimal method for solving a problem of field theory and technical means for its implementation is a difficult question.

At this time, the most widespread in the mathematical modeling of complex objects with distributed parameters are methods of discretization of the mathematical model by space-temporal

quantization. The representation of a mathematical model of objects with distributed parameters by systems of ordinary differential or algebraic equations allows to model them on analog and digital computers.

Let's assume that the operating time of the circulation system is limited by the time of reaching the temperature front of the production well. Studies [1] have shown that the heat flow from the surrounding massif in real formation conditions does not show a significant effect on the operation of the circulating system at a constant temperature. Therefore, in the calculations of heat flow is neglected. In the production of geothermal energy there is a pressure filtration, in which the value of μ has a value of about 10^{-6} m^2 . In this regard, the system goes into steady state for a short time compared to the time of its operation.

A method is proposed in this article for modeling the motion of a temperature front using a differential model with a transition to finite-difference model. After calculating the first approximation of the value of the speed of cold water, this value is refined using iterations for different parameters of the model.

Key words: mathematical model, temperature front, heat transfer agent.

Моделювання руху температурного фронту. Якщо припустити, що температура рідини змінюється стрибкоподібно від $T_{\text{гар}}$ – температури гарячої води до $T_{\text{хол}}$ – температури холодної води, то границя Γ переходу від однієї температури до іншої являє собою температурний фронт. Коефіцієнт фільтрації (у загальному випадку може бути кусочно-постійним, тобто залежати від координат) при переході через границю Γ змінюється від $K_{\text{гар}}$ – коефіцієнта фільтрації гарячої води до $K_{\text{хол}}$ – коефіцієнта фільтрації холодної води.

Пропонується викладений нижче метод моделювання руху температурного фронту, заснований на нерозривності потоку рідини на границі Γ :

$$-K_{\text{хол}} \left. \frac{\partial H_{\text{хол}}}{\partial n} \right|_{\Gamma} = -K_{\text{гар}} \left. \frac{\partial H_{\text{гар}}}{\partial n} \right|_{\Gamma}.$$

З урахуванням всього сказаного вище і вважаючи потужність шару величиною кусочно-постійною, від вихідної системи диференціальних рівнянь [2, (1)-(2)] переходимо до такої системи рівнянь:

$$K_{\text{хол}} m \frac{\partial^2 H_{\text{хол}}}{\partial x^2} + K_{\text{хол}} m \frac{\partial^2 H_{\text{хол}}}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

$$K_{\text{гар}} m \frac{\partial^2 H_{\text{гар}}}{\partial x^2} + K_{\text{гар}} m \frac{\partial^2 H_{\text{гар}}}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

Зробимо дискретизацію по просторі системи рівнянь (1) і (2) з використанням кінцево-різницевої схем. Тоді система рівнянь для вузла i, j у кінцево-різницевої формі буде мати вигляд:

$$\frac{K_{\text{хол}} m}{h^2} \left[(H_{i+1,j}^{\text{хол}} - H_{i,j}^{\text{хол}}) + (H_{i-1,j}^{\text{хол}} - H_{i,j}^{\text{хол}}) + (H_{i,j+1}^{\text{хол}} - H_{i,j}^{\text{хол}}) + (H_{i,j-1}^{\text{хол}} - H_{i,j}^{\text{хол}}) \right] = 0;$$

$$\frac{K_{\text{гар}} m}{h^2} \left[(H_{i+1,j}^{\text{гар}} - H_{i,j}^{\text{гар}}) + (H_{i-1,j}^{\text{гар}} - H_{i,j}^{\text{гар}}) + (H_{i,j+1}^{\text{гар}} - H_{i,j}^{\text{гар}}) + (H_{i,j-1}^{\text{гар}} - H_{i,j}^{\text{гар}}) \right] = 0.$$

Введемо масштаб $H = K_H U + H_{\text{мін}}$, одержимо:

$$\frac{K_{\text{хол}} m}{h^2} (U_{i+1,j}^{\text{хол}} + U_{i-1,j}^{\text{хол}} + U_{i,j+1}^{\text{хол}} + U_{i,j-1}^{\text{хол}} - 4U_{i,j}^{\text{хол}}) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{K_{\text{гар}} m}{h^2} (U_{i+1,j}^{\text{гар}} + U_{i-1,j}^{\text{гар}} + U_{i,j+1}^{\text{гар}} + U_{i,j-1}^{\text{гар}} - 4U_{i,j}^{\text{гар}}) = 0. \quad (4)$$

Закон Кірхгофа для вузла i, j резистивної сітки запишеться в такий спосіб:

$$\frac{1}{R_{хол}}(U_{i+1,j}^{хол} + U_{i-1,j}^{хол} + U_{i,j+1}^{хол} + U_{i,j-1}^{хол} - 4U_{i,j}^{хол}) = 0; \quad (5)$$

$$\frac{1}{R_{zap}}(U_{i+1,j}^{zap} + U_{i-1,j}^{zap} + U_{i,j+1}^{zap} + U_{i,j-1}^{zap} - 4U_{i,j}^{zap}) = 0. \quad (6)$$

З рівнянь (3)–(6) можна одержати такі вирази для опорів сітки і струмів, що моделюють витрату рідини:

$$R_{хол} = \frac{K_R}{K_{хол} m}, R_{zap} = \frac{K_R}{K_{zap} m}, i = \frac{QU}{HK_{zap} m R_{zap}}.$$

Радіальний характер плину рідини біля свердловин враховується додатковим опором, який визначається за формулою:

$$R_{дон} = R \left(\frac{1}{2\pi} l_n \frac{h}{r_{сверд}} - \frac{1}{n} ctg \frac{\pi}{n} \right).$$

Методику моделювання системи рівнянь (1)–(2) на сітковій моделі розглянемо на прикладі п'ятиточечної схеми розміщення свердловин, причому кількість вузлів між свердловинами не відіграє ролі для реалізації методу. Через симетрію задачі розглядається 1/8 частина блоку.

Параметри руху температурного фронту. Визначальною є швидкість бігу води уздовж головної лінії течії в напрямку вузлів сітки $i, j - i+1, j+1 - \dots - i+n, j+n$ тощо). Визначається швидкість руху води для конкретної розглянутої ділянки за формулою:

$$v_{zap}^{i,j;i+1,j+1} = \frac{K_{zap} \Delta U_{zap}^{i,j;i+1,j+1} K_H}{lp},$$

де i, j – індекси вузлових крапок; $\Delta U_{zap}^{i,j;i+1,j+1}$ – різниця потенціалів між відповідними вузловими точками; K_H – масштаб розмірності функції напорів; l – відстань між відповідними вузловими точками.

За швидкістю руху теплоносія визначається швидкість просування температурного фронту на вказаній ділянці:

$$v_T^{i,j;i+1,j+1} = \frac{v_{zap}^{i,j;i+1,j+1}}{f},$$

де f – коефіцієнт, що враховує зменшення швидкості просування температурного фронту в порівнянні з гідродинамічною швидкістю руху рідини. Коефіцієнт f визначається за такою залежністю:

$$f = \frac{c_0 \rho_0 (1-p) + c \rho p}{c_0 \rho_0 (1-p)} = 1 + \frac{c \rho p}{c_0 \rho_0 (1-p)}.$$

Тоді час руху температурного фронту по розглянутій ділянці визначається за формулою:

$$t^{i,j;i+1,j+1} = \frac{fl}{v_{zap}^{i,j;i+1,j+1}}.$$

Швидкості бігу води в напрямку Y уздовж усього сформованого на попередній момент часу температурного фронту визначається по формулах:

а) якщо рух у напрямку Y починається з вузлової точки

$$v_y^{i,j;i,j+1} = \frac{K_{zap} \Delta U_{zap}^{i,j;i,j+1}}{hp},$$

де $\Delta U_{zap}^{i,j;i,j+1}$ – різниця потенціалів між відповідними вузовими точками, h – крок сітки;

б) якщо рух холодної води починається між вузовими точками

$$v_y^{i,j;i,j+1} = \frac{K_{хол} \Delta U_y^{i,j;i,j+1} K_H (R_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'}{p (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p (R_y^{i,j;i,j+1})'},$$

де $(R_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'$ – опір ділянки холодної води між відповідними вузовими точками на попередній момент часу по осі Y , $(R_y^{i,j;i,j+1})'$ – опір усієї ділянки води між відповідними вузовими точками на попередній момент часу по осі Y , $(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p$ – відстань, пройдена холодною водою на попередній момент часу.

За швидкостями, з урахуванням часу, знаходяться відстані, пройдені тепловим фронтом в напрямку Y

$$l_{хол,y}^{i,j;i,j+1} = \frac{v_y^{i,j;i,j+1} t^{i,j;i+1,j+1}}{f} + (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p.$$

Якщо $l_{хол,y}^{i,j;i,j+1} > h$, визначаємо час досягнення тепловим фронтом точки

$$t_y^{i,j;i,j+1} = \frac{f \left[h - (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p \right]}{v_y^{i,j;i,j+1}},$$

а також

$$\Delta t_y^{i,j;i,j+1} = t_y^{i,j;i+1,j+1} - t_y^{i,j;i,j+1}.$$

Потім визначаємо швидкість води на наступній ділянці по осі Y :

$$v_y^{i,j+1;i,j+2} = \frac{K_{zap} \Delta U_{y,zap}^{i,j+1;i,j+2} K_H}{ph}.$$

Пройдена на цій ділянці відстань визначається як

$$l_{хол,y}^{i,j+1;i,j+2} = \frac{v_y^{i,j+1;i,j+2} \Delta t_y^{i,j;i,j+1}}{f}$$

тощо. Потім формуємо фронт холодної води.

За конфігурацією теплового фронту на даний момент часу визначаються опори електричної сітки в напрямках Y і X за формулами:

$$R_y^{i,j;i,j+1} = R_{хол,y}^{i,j;i,j+1} + R_{гар,y}^{i,j;i,j+1} = R_{зоп} \left(\frac{K_{зоп} \left(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1} \right)_p}{K_{хол} h} + \frac{l_{гар,y}^{i,j;i,j+1}}{h} \right);$$

$$R_x^{i,j;i+1,j} = \frac{R_{хол,x}^{i,j;i+1,j} \cdot R_{гар,x}^{i,j;i+1,j}}{R_{хол,x}^{i,j;i+1,j} + R_{гар,x}^{i,j;i+1,j}} = \frac{R_{зоп} \frac{K_{зоп}}{K_{хол}} h}{\left(F_{хол,x}^{i,j;i+1,j} \right)_p + \frac{K_{зоп}}{K_{хол}} F_{гар,x}^{i,j;i+1,j}},$$

де $R_y^{i,j;i,j+1}$ й $R_x^{i,j;i+1,j}$ – опори всієї ділянки між відповідними вузловими точками (на даний момент часу) по осях Y і X відповідно, $\left(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1} \right)_p$ – реальна відстань, зайнята холодною водою, обумовлена конфігурацією теплового фронту, $R_{хол,y}^{i,j;i,j+1}$ і $R_{хол,x}^{i,j;i+1,j}$ – опори ділянок холодної води між відповідними вузловими точками (на даний момент часу) по осях Y і X відповідно, $l_{гар,y}^{i,j;i,j+1}$ – відстань, зайнята гарячою водою між відповідними вузловими точками (на даний момент часу) по осі Y , $l_{гар,y}^{i,j;i,j+1} = h - \left(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1} \right)_p$, $\left(F_{хол,x}^{i,j;i+1,j} \right)_p$ – поперечний переріз, зайнятий холодною водою на ділянці, що моделюється розглянутим X опором (на даний момент часу), $F_{гар,x}^{i,j;i+1,j}$ – поперечний переріз, зайнятий гарячою водою на ділянці, що моделюється розглянутим X опором (на даний момент часу), $F_{зоп,x}^{i,j;i+1,j} = h - \left(F_{хол,x}^{i,j;i+1,j} \right)_p$.

Проводиться зміна значень зазначених опорів на моделі.

Перераховується швидкість бігу води уздовж головної лінії течії по холодній воді за формулою

$$\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)^* = \frac{K_{хол} \left(\Delta U_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)^* K_H}{l_p},$$

де $\left(\Delta U_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)^*$ – різниця потенціалів між відповідними вузловими точками.

Якщо швидкість води, визначена по холодній воді, збігається зі швидкістю води, визначеною по гарячій воді, то це дійсне значення швидкості, і всі отримані дані не мають потреби в коригуванні. Якщо ж значення швидкостей, визначених по гарячій і холодній воді, відрізняються між собою, то знаходиться деяка швидкість по формулі

$$\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_1 = \frac{v_{гар}^{i,j;i+1,j+1} + \left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)^*}{2}.$$

Потім проводяться ітерації аж до повного збігу $\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_n$ і $\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_n^*$, де n – номер ітерації.

Порядок проведення ітерацій для визначення швидкості холодної води:

1.1. Перша ітерація. Визначення швидкості бігу води вздовж головної лінії течії.

$$\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_1 = \frac{v_{гар}^{i,j;i+1,j+1} + \left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)^*}{2}.$$

1.1. n-а ітерація

$$\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_n = \frac{\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_{n-1} + \left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1} \right)_{n-1}^*}{2}.$$

2.1. Перша ітерація. Час проходження водою відповідної ділянки.

$$t_1^{i,j;i+1,j+1} = \frac{fl}{(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_1}.$$

2.n. n-а ітерація

$$t_n^{i,j;i+1,j+1} = \frac{fl}{(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_n}.$$

3.1. Перша ітерація. Визначення швидкості бігу воду в напрямку Y.

$$(v_y^{i,j;i,j+1})_1 = \frac{K_{хол} (\Delta U_{хол}^{i,j;i,j+1})_1 K_H R_{хол,y}^{i,j;i,j+1}}{p (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_p R_y^{i,j;i,j+1}}.$$

3.n. n-а ітерація

$$(v_y^{i,j;i,j+1})_n = \frac{K_{хол} (\Delta U_{хол}^{i,j;i,j+1})_n K_H (R_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_{n-1}}{p (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_{n-1,p} (R_y^{i,j;i,j+1})_{n-1}}.$$

4.1. Перша ітерація. Визначення відстаней, пройдених тепловим фронтом між відповідними вузловими точками.

$$(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_1 = \frac{(v_y^{i,j;i,j+1})_1 (t^{i,j;i+1,j+1})_1}{f} + (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p.$$

Якщо $(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_1 > h$, то

$$(t_y^{i,j;i,j+1})_1 = \frac{f \left[h - (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p \right]}{(v_y^{i,j;i,j+1})_1},$$

$$(\Delta t_y^{i,j;i,j+1})_1 = (t^{i,j;i+1,j+1})_1 - (t_y^{i,j;i,j+1})_1,$$

$$(v_y^{i,j+1;i,j+2})_1 = \frac{K_{хол} (\Delta U_y^{i,j+1;i,j+2})_1 K_H R_{хол}^{i,j+1;i,j+2}}{p (l_{хол,y}^{i,j+1;i,j+2})_p R_y^{i,j+1;i,j+2}},$$

$$(l_{хол,y}^{i,j+1;i,j+2})_1 = \frac{(v_y^{i,j+1;i,j+2})_1 (\Delta t_y^{i,j;i,j+1})_1}{f}.$$

4.n. n-а ітерація

$$(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_n = \frac{(v_y^{i,j;i,j+1})_n (t^{i,j;i+1,j+1})_n}{f} + (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p.$$

Якщо $(l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_n > h$, то

$$(t_y^{i,j;i,j+1})_n = \frac{f \left[h - (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})'_p \right]}{(v_y^{i,j;i,j+1})_n},$$

$$\begin{aligned}
(\Delta t_y^{i,j;i,j+1})_n &= (t_y^{i,j;i+1,j+1})_n - (t_y^{i,j;i,j+1})_n, \\
(v_y^{i,j+1;i,j+2})_n &= \frac{K_{хол} (\Delta U_y^{i,j+1;i,j+2})_n K_H (R_{хол}^{i,j+1;i,j+2})_{n-1}}{p (l_{хол,y}^{i,j+1;i,j+2})_{n-1} (R_y^{i,j+1;i,j+2})_{n-1}}, \\
(l_{хол,y}^{i,j+1;i,j+2})_n &= \frac{(v_y^{i,j+1;i,j+2})_n (\Delta t_y^{i,j;i,j+1})_n}{f}.
\end{aligned}$$

5.1. Перша ітерація. За конфігурацією теплового фронту води на даний момент часу визначаються опори електричної сітки в напрямках Y і X .

$$\begin{aligned}
(R_y^{i,j;i,j+1})_1 &= (R_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_1 + (R_{zap,y}^{i,j;i,j+1})_1 = \frac{K_{zap} (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_{p,1}}{K_{хол} h} + \frac{(l_{zap,y}^{i,j;i,j+1})_1}{h}; \\
(R_x^{i,j;i+1,j})_1 &= \frac{(R_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_1 \cdot (R_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_1}{(R_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_1 + (R_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_1} = \frac{\frac{K_{zap} h}{K_{хол}}}{(F_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_{p,1} + \frac{K_{zap}}{K_{хол}} (F_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_1}.
\end{aligned}$$

5.л. n-я ітерація

$$\begin{aligned}
(R_y^{i,j;i,j+1})_n &= (R_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_n + (R_{zap,y}^{i,j;i,j+1})_n = \frac{K_{zap} (l_{хол,y}^{i,j;i,j+1})_{p,n}}{K_{хол} h} + \frac{(l_{zap,y}^{i,j;i,j+1})_n}{h}; \\
(R_x^{i,j;i+1,j})_1 &= \frac{(R_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_n \cdot (R_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_n}{(R_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_n + (R_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_n} = \frac{\frac{K_{zap} h}{K_{хол}}}{(F_{хол,x}^{i,j;i+1,j})_{p,n} + \frac{K_{zap}}{K_{хол}} (F_{zap,x}^{i,j;i+1,j})_{p,n}}.
\end{aligned}$$

6.1. Перша ітерація. Перераховується швидкість бігу води уздовж головної лінії струму.

$$(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_1^* = \frac{K_{хол} (\Delta U^{i,j;i+1,j+1})_1^* K_H}{ph}.$$

Проводиться порівняння зі швидкістю, отриманою в п. 1.1 і, якщо між ними є розбіжність, визначається середня швидкість.

$$(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_2^* = \frac{(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_1^* + (v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_1^*}{2}.$$

6.л. n-я ітерація

$$(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1})_n^* = \frac{K_{хол} (\Delta U^{i,j;i+1,j+1})_n^* K_H}{ph}.$$

Проводиться порівняння зі швидкістю, отриманою в п. 1.л і, якщо між ними є розбіжність, визначається середня швидкість.

$$\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1}\right)_{n+1}^* = \frac{\left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1}\right)_n + \left(v_{хол}^{i,j;i+1,j+1}\right)_n^*}{2}.$$

Коли в результаті ітерацій знайдене істинне значення швидкості, переходимо на наступний часовий крок.

Висновки. Диференціальні або кінцево-різницеві моделі дозволяють ефективно визначити параметри руху температурного фронту в оточуючих породах з достатньою точністю. Але у випадку ускладнення конфігурації фронту або області тепломасопереносу починають виникати похибки вхідних даних та обчислень, що можуть суттєво впливати на точність кінцевого результату. Для зменшення таких помилок для задач моделювання руху тепературного фронту розглядається можливість переходу до інтегро-диференціальних або інтегральних моделей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лялько В.И., Митник М.М. Исследование процессов переноса тепла и вещества в земной коре. Київ : «Наукова думка», 1976. 152 с.
2. Фуртат И.Э., Фуртат Ю.О. Теплоперенос в подземных проницаемых пластах. *Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Орлеан, Франція, 19–20 серпня 2021 р.) Орлеан: Epi, 2021. С. 379–392.

REFERENCES:

1. V.I. Lialko & M.M. Mitnik (1976) Issledovanie processov perenosa tepla i veshhestva v zemnoj kore [Research of Heat and Matter Transfer Processes in the Earth's Crust]. Kyiv: "Naukova dumka" [in Russian].
2. Furtat I.E. & Furtat Yu.O. (2021) Teploperenos v podzemnyh pronicaemyh plastah [Heat Transfer in Permeable Subterranean Reservoirs]. Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research» (August 19–20, 2021). Orléans, France: Epi [in Russian].

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.682:641.1

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.7>

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕЧИВА З ПІДВИЩЕНОЮ ХАРЧОВОЮ ЦІННІСТЮ

Антоненко А.В. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу

ПВНЗ «Київський університет культури»

ORCID ID: 0000-0001-5191-8418

Бровенко Т.В. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу

Київського національного університету культури і мистецтв

ORCID ID: 0000-0003-1552-2103

Василенко О.В. – кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу

ПВНЗ «Київський університет культури»

ORCID ID: 0000-0003-4097-7476

Земліна Ю.В. – кандидат педагогічних наук, доцент,

доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу

ПВНЗ «Київський університет культури»

ORCID ID: 0000-0003-0194-9472

Криворучко М.Ю. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу

Київського національного торговельно-економічного університету

Толок Г.А. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу

Київського національного університету культури і мистецтв

ORCID ID: 0000-0002-2971-1645

У статті наведено технологію виробництва, рецептурний склад італійського печива біскотті. Обґрунтовано доцільність використання в розробленій технології біологічно активної сировини. Отримано комплекс даних, що характеризує якість розробленої страви, доведено її високу харчову цінність. На підставі досліджень органолептичних показників розроблених зразків визначено раціональну концентрацію дієтичних добавок у рецептурі печива біскотті, що дає розробленій харчовій продукції покращення смакових властивостей та консистенції порівняно з контролем за рахунок використання

біологічно активної сировини. Розроблена технологія печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками має підвищений вміст білків, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин у порівнянні з традиційною технологією. Експериментально підтверджено оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі розробленого борошняного кондитерського виробу. За органолептичними показниками отримане печиво відповідає за якістю встановленим нормам. Соціальний ефект упровадження розробленого печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном і фісташками полягає в розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенційних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування в повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях, та всіх верств населення.

Ключові слова: харчова цінність, біскотті, харчова технологія, кунжутне борошно, амарантове борошно, вітаміни, мінеральні речовини.

Antonenko A.V., Brovenko T.V., Vasylenko O.V., Zemlina Yu.V., Kryvoruchko M.Yu., Tolok G.A. Development of technology of cookies with high nutritional value

Scientific substantiation and development of competitive technology of production of complex raw materials is an urgent task, the solution of which will allow to expand the range of combined dishes with high nutritional and biological value and to obtain products with specified functional properties. The article presents the production technology, recipe composition of Italian biscuit cookies. The expediency of using biologically active raw materials in the developed technology is substantiated. A set of data characterizing the quality of the developed dish is obtained, its high nutritional value is proved. Based on studies of organoleptic parameters of the developed samples, the rational concentration of dietary supplements in the recipe of biscotti cookies was determined, which gives the developed food products improved taste and consistency compared to the control through the use of biologically active raw materials. Developed biscuit cookies technology with amaranth and sesame flour, pistachios has a high content of protein, dietary fiber, vitamins and minerals compared to traditional technology. The optimal ratio of components in the recipe of the developed flour confectionery product has been experimentally confirmed. According to organoleptic parameters, the obtained cookies meet the quality standards. The social effect of the introduced biscuit cookies with amaranth and sesame flour, pistachios is to expand the range of dishes for adults and children with high content of essential nutrients, improved consumer properties of products that will help protect the health of the population, protect the environment from negative environmental influences. Developed culinary products can be recommended for nutrition in the daily diets of people working in heavy industry, living in environmentally contaminated areas and all segments of the population.

Key words: nutritional value, biscotti, food technology, sesame flour, amaranth flour, vitamins, minerals.

Вступ. Харчування є найважливішим чинником навколишнього середовища, що протягом усього життя безпосередньо впливає на життєдіяльність організму людини. Останні дослідження нутриціологів свідчать про суттєвий вплив харчування на різні види харчової недостатності, причинами якої є дефіцит білків, макро- та мікронутрієнтів, нестача вітамінів, уживання рафінованої їжі, постійне споживання різноманітних харчових добавок, що не мають біологічної цінності та наносять шкоду організму [1–3].

Постановка проблеми. Одним із найважливіших завдань сьогодні є поліпшення структури харчування, якості та безпеки харчових продуктів як основи життєдіяльності людини. Разом із тим накопичений світовий досвід показує, що вирішити проблему швидкого корегування структури харчування майже неможливо шляхом простого збільшення обсягів виробництва і розширення асортименту традиційних харчових продуктів. Пошук альтернативних шляхів розв'язання цього надзвичайно важливого завдання привів учених і практиків до ідеї про необхідність розроблення та реалізації нових, значно досконаліших технологій

виробництва харчових продуктів, адекватних за компонентним складом та потребами сучасної людини. Це продукти оздоровчого, профілактичного та функціонального призначення [4–5].

Підвищення обсягу виробництва та споживання борошняних кондитерських виробів за останні роки свідчить про те, що ця група виробів займає важливе місце в структурі харчування населення України [6]. Рецептурний склад даних виробів піддається регулюванню, що дозволяє на їх основі створювати продукти харчування, які відповідають традиційним вимогам до споживчих властивостей і сучасним вимогам науки про харчування. Розроблення та впровадження у виробництво борошняних кондитерських виробів функціонального призначення є актуальним завданням науковців та працівників харчової промисловості [7–8].

Популярним борошняним кондитерським виробом є італійське печиво біскотті. Біскотті – це хрумке тверде печиво, в перекладі з італійської Biscotti означає «приготоване двічі». Технологія приготування печива полягає в такому: випікають продовгуваті тонкі батони, нарізають їх скибочками і випікають ще раз. Традиційна технологія біскотті включає використання фундука та анісу, однак сучасні технології передбачають різні види горіхів, лимонну та апельсинову цедру, шоколад, перець та інші прянощі. Після завершення випікання печиво завантажуються в широкі скляні банки і герметично закривається кришками для тривалого зберігання. Подають біскотті до кави або десертного вина [9–11].

Мета дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування та розроблення технології італійського печива біскотті з додаванням композиційної суміші з амарантового та кунжутного борошна, фісташок як джерела нутрієнтів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- науково обґрунтувати та експериментально підтвердити можливість використання амарантового та кунжутного борошна, фісташок у технології італійського печива біскотті;
- дослідити фізико-хімічні та технологічні властивості амарантового та кунжутного борошна, фісташок;
- розробити технологічну схему виробництва печива біскотті, визначити органолептичні та хімічні показники якості;
- провести комплексну оцінку якості розроблених борошняних кондитерських виробів.

Об'єкт дослідження – технологія італійського печива з використанням композиційної суміші з амарантового та кунжутного борошна, фісташок.

Предмет дослідження – амарантове та кунжутне борошно, фісташки, італійське печиво біскотті.

Методи дослідження: органолептичні, фізико-хімічні, математична обробка результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукове обґрунтування та розроблення конкурентоспроможної технології продукції складного сировинного складу є актуальним завданням, розв'язання якого дозволить розширити асортимент комбінованих страв із підвищеною харчовою і біологічною цінністю та одержати продукцію із заданими функціональними властивостями.

Значний внесок у вирішення фундаментальних питань створення харчових продуктів складного сировинного складу як засобу профілактики та ліквідації дефіциту мікронутрієнтів надали дослідження таких вітчизняних та зарубіжних учених: О.О. Грінченко, А.Б. Горальчука, А.М. Дорохович, І.Ю. Жигаленко,

А.В. Зіolkовської, П.О. Карпенка, М.Б. Колесникової, В.Н. Корзуна, М.В. Кравченка, Г.М. Лисюк, Л.П. Малюк, Л.М. Мостової, Н.Я. Орлової, М.І. Пересічного, П.П. Пивоварова, Н.В. Пригульської, Г.Б. Рудавської, М.Р. Ennis, J.C.F. Murtey, G.O. Phillips, W.C. Welington, P.A. Williams та ін. [12–15].

Виклад основного матеріалу дослідження. В останній час у харчовій промисловості з'явився новий вид сировини – амарантове борошно, яке має багатий хімічний склад, високу харчову цінність, містить широкий спектр біологічно активних речовин. Амарантове борошно випереджає традиційну рослинну сировину за вмістом харчових речовин, особливо білків та жирів. Його білки відрізняються оптимальним співвідношенням незамінних амінокислот [1; 16]. В амарантовому борошні в повному складі представлені вітаміни групи В та мінеральні речовини. Кальцій та фосфор знаходяться у співвідношенні, яке дорівнює 1:2, що є наближеним до оптимального (1:1,5) для засвоєння організмом людини, а вміст магнію, міді та марганцю відповідає добовій потребі в даних елементах.

Амарантове борошно здатне боротися із запаленнями, вірусами, грибками, перешкоджати утворенню пухлин, забезпечувати ефективне загоєння ран, стимулювати і зміцнювати імунітет. Крім того, регулярне його вживання дозволяє:

- позбутися від накопичених в організмі шлаків, токсинів;
- нейтралізувати радіонукліди;
- вивести солі важких металів і перешкоджати їх повторному затримуванню в організмі.

В амарантовому борошні відсутній глютен, тому воно ідеально підходить для формування щоденного раціону людей, хворих на целиацію. Додавати борошно можна у вегетаріанські або дієтичні страви.

Кунжутне борошно виготовляють із насіння кунжуту і використовують в інноваційних технологіях приготування соусів, супів-пюре, хлібобулочних виробів, солодких кондитерських виробів тощо [2; 17]. Кунжутне борошно – це дієтичний і корисний продукт харчування, що є джерелом макро- і мікроелементів, таких як калій, кальцій, магній, цинк, селен, мідь, марганець, залізо, фосфор, натрій, та вітамінів Е, В1, В2, В5, В6, В9, А, Т, РР. Кунжутне борошно сприяє виведенню токсинів з організму, нарощуванню м'язової маси та рекомендовано для вживання в лікувально-профілактичних цілях у разі захворювань шлунково-кишкового тракту.

Фісташки – цінний продукт харчування, який є джерелом амінокислотного білку, жирів, вуглеводів, вітамінів групи А, В, Е, крохмалю і гліцеридів, мінеральних речовин: заліза, магнію, фосфору, калію, марганцю і міді. Фісташки відносять до продуктів, які мають найсильніші антиоксидантні властивості, а їх регулярне вживання знижує ризик онкологічних захворювань і уповільнює процеси старіння організму [3; 18]. Вони сприятливо позначаються на роботі серцево-судинної системи: сприяють зниженню рівня холестерину, корисні в разі анемії, прискореного серцебиття і загалом знижують ризик серцевих захворювань.

Дієтологи рекомендують фісташки під час високих фізичних навантажень, у разі втоми та виснаження організму. Вони активізують розумову діяльність і рекомендуються людям з високими розумовими навантаженнями [19; 20]. Під час розроблення нової технології печива біскотті було досліджено хімічний склад функціональних інгредієнтів, які додавались до рецептури борошняного кондитерського виробу (табл. 1).

Таблиця 1

**Харчова цінність амарантового та кунжутного борошна, фісташок
(на 100 грам функціонального інгредієнта)**

Нутрієнт	Амарантове борошно	Кунжутне борошно	Фісташки
Білок, г	17,9	40,4	20,6
Жири, г	6	1,75	44,4
Вуглеводи, г	61	35,5	17,7
Харчові волокна, г	6,7		10,3
Енергетична цінність, ккал	298	333	557
Вітаміни			
Вітамін В ₁ , мг	0,14	2,5	0,87
Вітамін В ₂ , мг	0,2	0,26	0,16
Вітамін В ₆ , мг	0,6	0,14	1,7
Вітамін В ₉ , мкг	82	29	51
Вітамін РР, мг	2,1	12,5	1,3
Вітамін А, мг	40	3	0,33
Вітамін Е, мг	1,19		22,6
Мінеральні речовини			
Натрій, мг	18	39	1
Калій, мг	508	397	1025
Кальцій, мг	159	149	105
Магній, мг	248	338	121
Фосфор, мг	557	757	3760
Залізо, мг	7,6	14,2	4,15
Селен, мкг	18,7		7
Цинк, мг	2,8	10	2,2

Для проведення наступних досліджень у досліді 1 частину пшеничного борошна було замінено на композиційну суміш з амарантового та кунжутного, в досліді 2 було проведено повну заміну пшеничного борошна. Для підвищення кількості харчових волокон, мінеральних речовин та вітамінів у рецептурі печива частину фундуку вирішено замінити на фісташки. Використана сировина відповідала вимогам діючої нормативної документації.

Розроблені рецептури з композиційної суміші з амарантового та кунжутного борошна та фісташками наведені в таблиці 2.

Рациональну кількість функціональних інгредієнтів у рецептурі печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками визначали за рахунок органолептичної оцінки (табл. 3). Органолептична оцінка була проведена за 5-ти бальною шкалою.

Таблиця 2

**Рецептура печива біскотті з композиційною сумішшю
з амарантового та кунжутного борошна, фісташками, г**

Найменування сировини	Біскотті (контроль)	Біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками	
		Дослід 1	Дослід 2
Борошно пшеничне	40	20	
Цукор	14	14	14
Яйця	20	20	20
Фундук	20	10	10
Розпушувач	0,6	0,6	0,6
Сіль	0,4	0,4	0,4
Какао	5	5	5
Амарантове борошно	-	10	20
Кунжутне борошно	-	10	20
Фісташки	-	10	10
Вихід	100	100	100

Таблиця 3

**Органолептичні показники печива біскотті з композиційною сумішшю
з амарантового та кунжутного борошна, фісташками**

Назва виробу	Показник органолептичної оцінки					
	Зовнішній вигляд	Колір	Консистенція	Смак	Запах	Загальна оцінка
<i>Коефіцієнт вагомості</i>	0,20	0,15	0,15	0,25	0,25	1,0
Біскотті (контроль)	4,9	5,0	4,9	5,0	5,0	4,96
Біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками (дослід 1)	4,7	4,8	4,7	4,7	4,8	4,74
Біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками (дослід 2)	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

У разі 50% заміни пшеничного борошна на композиційну суміш з амарантового та кунжутного борошна спостерігається погіршення таких органолептичних показників, як: зовнішній вигляд, смак та консистенція. У разі повної заміни пшеничного борошна на композиційну суміш спостерігається поліпшення всіх органолептичних показників.

Отже, робимо висновок, що в разі 100% заміни борошна виробу характеризуються високими органолептичними показниками якості, які не поступаються при цьому показникам якості контрольного зразка і набувають оригінального смаку та запаху за рахунок внесення функціональних інгредієнтів.

Технологічну схему виробництва печива біскотті з композиційною сумішшю з амарантового та кунжутного борошна і фісташками представлено на рис. 1. Згідно з наведеними вище даними можна вважати, що заміна традиційних інгредієнтів на функціональні не погіршила споживчі властивості продукту.

Таблиця 4

**Хімічний склад печива біскотті з амарантовим
та кунжутним борошном, фісташками, на 100 г**

Нутрієнти	Біскотті (контроль)	Біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками (дослід)	Різниця, од.	Різниця, %
Білки, г	11,08	18,98	7,90	71,33
Жири, г	15,81	15,12	–0,69	–4,36
Вуглеводи, г	45,29	36,63	–8,66	–19,12
Харчові волокна, г	3,76	4,73	0,97	25,66
Енергетична цінність, ккал	367,89	348,69	–19,20	–5,22
Вітаміни				
Вітамін В ₁ , мг	0,15	0,66	0,52	351,70
Вітамін В ₂ , мг	0,17	0,21	0,03	19,54
Вітамін В ₆ , мг	0,18	0,41	0,23	131,82
Вітамін В ₉ , мкг	23,80	33,50	9,70	17,13
Вітамін РР, мг	3,18	3,85	0,67	21,07
Вітамін А, мг	0,40	8,833	8,43	2108,25
Вітамін Е, мг	2,08	3,538	1,46	70,10
Мінеральні речовини				
Натрій, мг	0,60	11,80	11,20	1866,67
Калій, мг	295,65	458,65	163,00	85,15
Кальцій, мг	58,60	108,50	49,90	55,13
Магній, мг	44,45	160,15	115,70	260,29
Фосфор, мг	165,35	739,85	574,50	347,44
Залізо, мг	2,68	6,68	4,00	149,07
Селен, мкг	0,48	4,68	4,20	875,00
Цинк, мг	1,74	3,24	1,50	86,21

З таблиці 4 бачимо, що в розробленому виробі збільшився вміст білків на 71,33%, що впливає на розумову діяльність людини, та харчових волокон – на 25,66%, необхідних для нормального функціонування кишкового тракту, при цьому зменшилися вміст жирів – на 4,36%, вуглеводів – на 19,12% та енергетична цінність – на 5,22%. Збільшився вміст вітамінів: кількість вітаміну В₁, що зміцнює нервову систему і відіграє важливу роль у метаболізмі, зросла на 351,7%, вітаміну В₉, який сприяє синтезу білків, підтримує функціональний стан імунної системи, – на 17,13% відповідно до контролю, вітаміну А, що регулює білковий синтез, бере участь в окислювальних і відновлювальних процесах, – у 21 раз у порівнянні з контролем. За введення функціональних інгредієнтів змінився вміст мінеральних речовин: підвищився вміст натрію у 18,6 разів, кальцію, який формує кісткову тканину і зуби, – на 85,15%, фосфору, необхідного для обмінних процесів організму, – на 347,4%, селену, який входить в активний центр ферментів системи

антиоксидантного та антирадикального захисту організму, – на 875%, цинку, який сприяє нормальному протіканню процесів розвитку кісткової тканини, – на 86,2%.

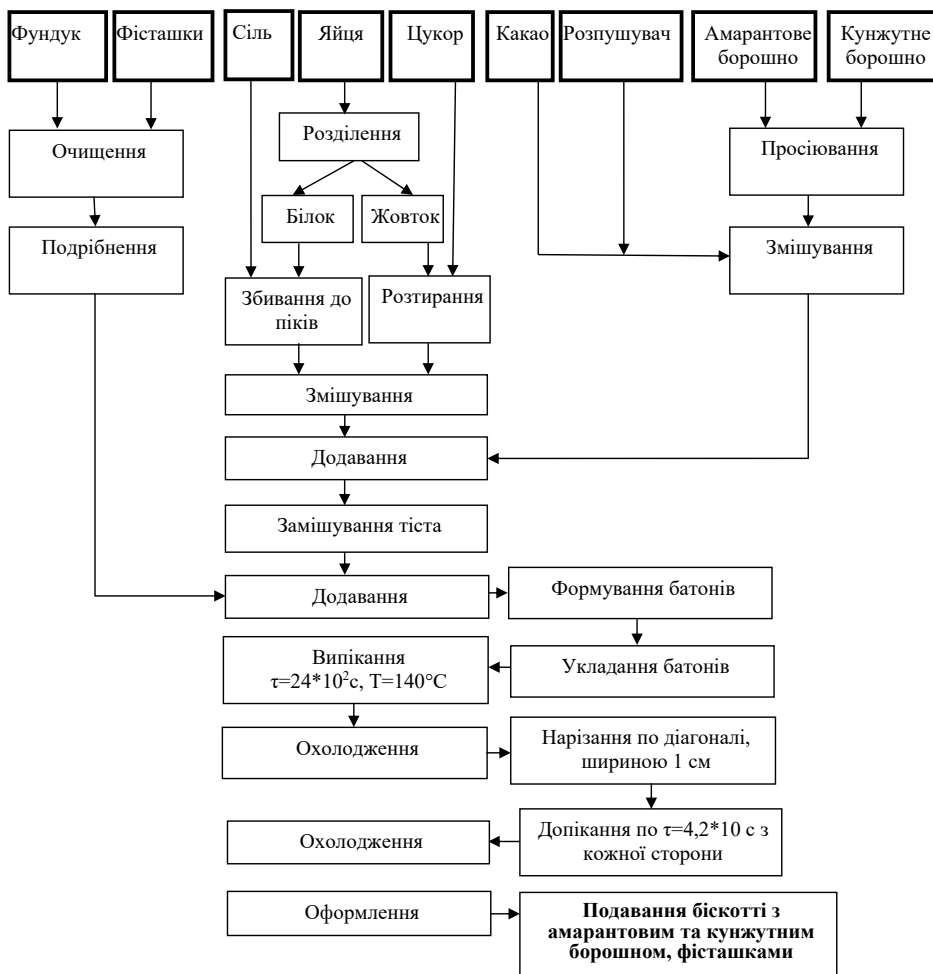


Рис. 1. Біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками

Для оцінки якості розробленого печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном і фісташками побудовано модель якості (рис. 2). Для побудови моделі якості використані такі показники: органолептична оцінка, вміст білків, вітаміну В₉, вітаміну А, кальцію, магнію та заліза.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що розроблене печиво біскотті з амарантовим та кунжутним борошном і фісташками має підвищений вміст білків, харчових волокон, вітамінів та мінеральних речовин у порівнянні з традиційною технологією. Експериментально підтверджено оптимальне співвідношення компонентів у рецептурі розробленого борошняного кондитерського виробу. За органолептичними показниками отримане печиво відповідає за якістю встановленим нормам. Соціальний ефект

упровадження розробленого печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном і фісташками полягає в розширенні асортименту страв для харчування дорослих та дітей з підвищеним вмістом есенційних нутрієнтів, покращеними споживчими властивостями продукції, що сприятиме збереженню здоров'я населення, захисту організму від негативного впливу навколишнього середовища. Розроблена кулінарна продукція може бути рекомендована для харчування в повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях, та всіх верств населення.

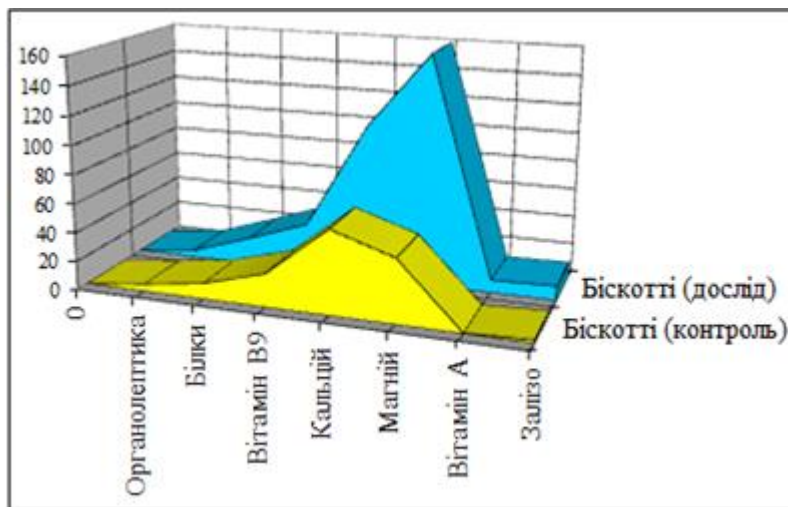


Рис. 2. Модель якості печива біскотті з амарантовим та кунжутним борошном, фісташками

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мазаракі А.А. Технологія харчових продуктів функціонального призначення. Київ : КНТЕУ, 2012. 1116 с.
2. Львович И.Я. Перспективные тренды развития науки: техника и технологии. Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2016. 197 с.
3. Корзун В.Н., Гаркуша С.Л. Заходи профілактики та лікування метаболічного синдрому у населення. *Довідля та здоров'я*. 2016. №. 1. С. 9–13.
4. Черевко О.І. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Харків : ХДУХТ, 2017. 591 с.
5. Yatsenko V.M. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom, 2017. 619 с.
6. Русавська В.А. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції. Київ : Видавництво Ліра, 2018. 420 с.
7. Преображенский А.П. Уровень развития техники и технологии в XXI веке. Одесса : КУПРИЕНКО С.В., 2019. 227 с.
8. Гамаюнова В.В. Инновационные технологии в жизни современного человека. Одесса : КУПРИЕНКО С.В., 2020. 209 с.
9. Химический состав российских пищевых продуктов : Справочник / под ред. член-корр. МАИ, И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. Москва : ДеЛи принт, 2002. 236 с.

10. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Москва : Издательство: «Экономика», 1982. 495 с.
11. Мазаракі А.А. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.
12. Brovenko T. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*: наук. журнал, 2018. № 2. С. 91–94.
13. Земліна Ю.В. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини. *Науковий журнал «Вчені записки» ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Том 30 (69). № 4. С. 77–82.
14. Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2012. № 1. С. 82–88.
15. Михайлик В.С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. *Харчова наука і технологія: науково-виробничий журнал*. 2016. № 1. С. 72–77.
16. Кравченко М.Ф., Криворучко М.Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Товари і ринки: міжнародний науково-практичний журнал*. 2012. № 1. С. 82–88.
17. Антоненко А.В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. № 46 (1). С. 149–153.
18. Журавська А.А. Новітні технології кондитерських виробів підвищеної харчової цінності. *Научные труды SWorld*. 2013. № 1. С. 73–77.
19. Довга О.О., Ліфіренко О.С. Удосконалення технології борошняних кулінарних виробів для харчування дітей. *Научный взгляд в будущее: международное периодическое научное издание*. 2016. № 3. С. 4–11.
20. Кравченко М.Ф. Наукове обґрунтування і розроблення фруктових систем як основи для солодких соусів. *Міжнар. наук.-практ. журн. «Товари і ринки»*. 2009. № 2. С. 76–82.

REFERENCES:

1. Mazaraki A.A. (2012). Tekhnologiya harchovih produktiv funkcional'nogo pryznachennya. Kyiv: KNTEU. 1116 s. [in Ukrainian].
2. L'vovich I.YA. (2016) Perspektivnye trendy razvitiya nauki: tekhnika i tekhnologii. Odesa: KUPRIENKO SV. 197 s. [in Ukrainian].
3. Korzun V. N., Harkusha S. L. (2016). Zakhody profilaktyky ta likuvannya metabolichnoho syndromu u naselennia. Dovkillia ta zdorovia. №.1. 9–13.
4. Cherevko O.I. (2017). Innovacijni tekhnologii harchovoї produkції funkcional'nogo pryznachennya. Harkiv: HDUHT. 591 s. [in Ukrainian].
5. Yatsenko V.M. (2017). Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 619 s. [in United Kingdom].
6. Rusavs'ka V.A. (2018). Teoretiko-praktichni pidhodi do efektyvnogo funkcionuvannya rinku gotel'no-restorannih poslug: stan, problemi, tendencii. Kiiv: Vidavnytvo Lira. 420 s. [in Ukrainian].
7. Preobrazhenskij A.P. (2019) Uroven' razvitiya tekhniki i tekhnologii v HKHI veke. Odesa: KUPRIENKO S.V. 227 s. [in Ukrainian].
8. Gamayunova V.V. (2020) Innovacionnye tekhnologii v zhizni sovremennogo cheloveka. Odessa: KUPRIENKO SV. 209 s. [in Ukrainian].
9. Skurykhyn Y.M. (2002). Khymycheskyi sostav rossiyskikh pyshchevikh produktov: Spravochnik. M:DeLy prynt. 236 s.
10. Sbornyk retseptur bliud y kulynarnikh yzdeleyi dlia predpriyatiy obshchestvennoho pytanyia. (1982). «Ekonomyka». 495 s.

11. Mazaraki A.A. (2013). Zbirnyk retseptur kulinarnoi produktsii i napoiv funktsionalnogo pryznachennia. Kyiv : Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t. 772 s.
12. Brovenko T. (2018). Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadriv kultury i mystetstv: nauk. zhurnal. № 2, 91-94.
13. Zemlina U.V. (2019) Tekhnologiya boroshnyanih strav na osnovi netradicijnoi sirovini. Naukovij zhurnal «Vcheni zapiski» TNU im. V.I. Vernads'kogo. Seriya «Tekhnichni nauki». Tom 30 (69). № 4. 77-82.
14. Kryvoruchko M.Iu. (2012). Strukturno-mekhanichni vlastyvoli prismo tista z boroshna proroashchenoho zerna pshenytsi. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. «Tovary i rynky». № 1. 82–88.
15. Mykhailyk V.S. (2016). Tekhnolohiia ta yakist pechyva zi shrotamy oliinykh kultur. Kharchova nauka i tekhnolohiia: naukovy-vyrobnychy zhurnal. № 1. 72–77.
16. Kravchenko M.F., Kryvoruchko M.Iu. (2012). Strukturno-mekhanichni vlastyvoli prismo tista z boroshna proroashchenoho zerna pshenytsi. Tovary i rynky: mizhnarodnyi naukovy-praktychnyi zhurnal. № 1. 82–88.
17. Antonenko A.V. (2014). Boroshno z proroashchenoho zerna vivsa yak osnova dlia boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv. Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. № 46 (1). 149–153.
18. Zhuravska A.A. (2013). Novitni tekhnolohii kondyterskykh vyrobiv pidvyshchenoi kharchovoi tsinnosti. Nauchnye trudy SWorld. № 1. 73–77.
19. Dovha O.O., Lifirenko O.S. (2016). Udoskonalennia tekhnolohii boroshnianykh kulinarnykh vyrobiv dlia kharchuvannia ditei. Nauchnii vzgliad v budushchee: mezhduнародное peryodycheskoe nauchnoe yzdanye. № 3. 4–11.
20. Kravchenko M.F. (2009). Naukove obhruntuvannia i rozroblennia fruktovykh system yak osnovy dlia solodkykh sousiv. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. «Tovary i rynky». № 2. 76–82.

УДК 637.523

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.8>

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ІКРИ ОЗДОРОВЧОГО СПРЯМУВАННЯ З ГАРБУЗУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЗАМІНИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Восвода Н.В. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

Радченко В.С. – студент II курсу біолого-технологічного факультету
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9641-2127

У статті розглянуто показники якості розроблених зразків продукції «Ікра овочева» з використанням технологічних змін виробництва для отримання оздоровчого харчування. Це зумовлено необхідністю забезпечити раціон певних груп населення та розширити асортимент підприємства. Так, із проривом нових технологій наразі багато шкідливих речовин, які містяться в їжі, спричиняють захворювання кишково-шлункового тракту, а це унеможливує вживання певних продуктів. Одним із факторів виникнення такого ефекту можуть бути шкідливі технологічні процеси вироблення. Заміна класичних операцій є дуже важливою для забезпечення споживання тієї продукції, яка не буде шкодити здоров'ю.

За результатами проведених досліджень визначено, що показники якості одержаної ікри оздоровчого спрямування з використанням прийому заміни технологічного процесу знаходяться в межах установлених законодавством норм. Тому можна стверджувати про відповідність отриманих зразків ДСТУ 3797-98 за такими позиціями: зовнішній вигляд та консистенція, смак та запах, колір, сторонні домішки, масова частка жиру, масова частка сухих речовин за рефрактометром, масова частка хлоридів, титруєма кислотність у перерахунку на яблучну кислоту, масова частка мінеральних домішок.

Показано співвідношення вмісту білків, жирів та вуглеводів, калорійності. Якщо порівняти результат з даними класичної овочевої ікри з баклажанів, стає очевидно, що знизився вміст жирів з 9 г до 2,7 г, тобто на 70%. Водночас калорійність готової продукції зменшилась на 54,3%, вміст вуглеводів збільшився на 18,47% за рахунок природних цукрів, що містяться в гарбузі та чорносливі.

Отримані результати розрахунку економічної ефективності свідчать про можливість використання висунутих гіпотез стосовно технологічного процесу даного виду продукції в промисловому технологічному процесі, оскільки ціна готової продукції відповідає середній ціновій політиці. Варто зазначити, що продукція цінового лідера не відповідає сучасним вимогам згідно з нормативною документацією.

Ключові слова: показники якості, овочева ікра, оздоровче харчування, модифікація, технологічний процес.

Voievoda N.V., Radchenko V.S. Evaluation of caviar indicators from pumpkin for health direction according to the results of the replacement of the technological process

The article considers the quality indicators of the developed product samples "Vegetable Caviar" with the use of technological changes in production to obtain health food. This is due to the need to ensure the diet of certain groups and expand the range of enterprises. Thus, with the breakthrough of new technologies, there are now many harmful substances contained in food and cause diseases of the gastrointestinal tract, and this makes it impossible to eat certain foods. One of the factors of such effect can be harmful technological processes of production. Replacing classic operations is very important to ensure the consumption of products that will not be harmful to health.

According to the results of the research, it is determined that the quality indicators of the obtained caviar of health-improving direction with the use of the method of technological process replacement are within the norms established by the legislation. Therefore, we can

say that the obtained samples accord DSTU 3797-98 on the following items: appearance and consistency, taste and smell, color, impurities, mass fraction of fat, mass fraction of dry matter by refractometer, mass fraction of chlorides, titratable acidity in terms of malic acid, mass fraction of mineral impurities.

The ratio of protein, fat and carbohydrate content in calories is shown. If we compare the result with the data of the classic vegetable caviar from eggplant, it is obvious that the fat content decreased from 9 g to 2.7 g, ie by 70%. At the same time, the caloric content of finished products decreased by 54.3%, the carbohydrate content increased by 18.47% due to natural sugars contained in pumpkin and prunes.

The obtained results of the calculation of economic efficiency indicate the possibility of using the hypotheses regarding the technological process of this type of product in the industrial technological process, as the price of the finished product corresponds to the average pricing policy. It should be noted that the products of the price leader do not meet modern requirements according to regulatory documentation.

Key words: quality indicators, vegetable caviar, health food, modification, technological process.

Вступ. Переважна кількість населення вживає овочі в їжу як основний компонент раціону, а деякі люблять споживати овочеву ікру. Традиції приготування такої страви закладено ще з давніх часів. Із проривом технологій у сучасному світі можна розробити ікру, яка майже не буде шкодити організму як звичайної людини, так і з особливостями харчування.

Розроблення нових видів продукції – це шлях розвитку малих та середніх підприємств як на регіональному, так і на національному рівні. Особливо це стосується забезпечення потреб споживачів із хронічними захворюваннями. У зв'язку з цим доцільно розробляти не тільки нові асортименти, а й удосконалювати вже відомі. Прикладом є овочева ікра, в складі якої переважна більшість компонентів рецептури обсмажуються, що унеможлиблює її вживання особам, які мають шлунково-кишкові порушення. Таким чином, питання заміни такого шкідливого технологічного процесу та розроблення доступної для дієтичного харчування продукції є важливим та актуальним питанням, що необхідно вирішувати для забезпечення підтримки здоров'я нації. Як результат, постає проблема забезпечення відповідності якісних показників отриманої продукції нормативній документації.

Мета дослідження. Метою статті є визначення органолептичних та фізико-хімічних показників ікри оздоровчого спрямування, отриманої шляхом заміни технологічного процесу обжарювання та бланшування, для підтвердження доцільності її виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема покращення харчування спонукала до інноваційних досліджень багатьох учених, зокрема, М.Я. Бомба та С.Ю. Колодій оцінювали можливість адаптації калорійних традиційних вітчизняних страв до вимог дієтичного харчування у зв'язку з погіршенням стану здоров'я населення [1]. Відзначимо, що В.С. Іванченков та З.В. Чехович розглядали питання популяризації здорового харчування через призму інновацій та стабільного економічного розвитку підприємств півдня України [2]. Зазначимо, що розробленням овочевої ікри підвищеної харчової цінності, до рецептури якої було введено нетрадиційну сировину – пюре з шипшини і пряно-ароматичну сировину – імбир та рапсову олію, займались Н.В. Дуденко і В.С. Ольховська [3]. Проте її основною сировиною є кабачки, які піддаються термічній обробці шляхом обжарювання.

Виклад основного матеріалу. Зміна класичних компонентів дозволяє отримати новий за органолептичними показниками продукт, який не шкодить здоров'ю споживачів та може використовуватись у харчуванні осіб, що мають

порушення функціонування шлунково-кишкового тракту і печінки. Це припущення базується на обґрунтованій з технологічної точки зору заміні класичного обжарювання сировини в паромасляній печі або печі Крапівіна на бланшування парою та водою. При цьому приємний присмак та післясмак готовій продукції надаватиме чорнослив [4].

Для аналізу розроблюваного асортименту консервів згідно із загальною схемою контролю технологічних параметрів виробництва використовувались методи, що вказані в табл. 1.

Таблиця 1

Методи, що використовувались під час дослідження технологічного процесу виробництва об'єкта досліджень

№ з/п	Параметр, що контролюється	Нормативний документ	Метод контролю
1	Сировина	ДСТУ 2660-94, ДСТУ 3190-95, ДСТУ 3234-95, ГОСТ 172185, ДСТУ 2316-93, ДСТУ 3583-97	Органолептичний, титриметричний метод, метод визначення домішок рослинного походження по масі та ін.
2	Овочева ікра	ГОСТ 28561-90, ГОСТ 26183-84, ГОСТ 26186-84, ГОСТ 25555.0-82, ГОСТ 24556-89, ГОСТ 25555.3-82, ГОСТ 26323-84, ГОСТ 30425-97	Потенціометричний, флотаційний, термогравиметричний методи, аргентометричний метод по фольгарду, метод визначення домішок рослинного походження по масі та ін.

Стандартом на готову продукцію передбачається нормування органолептичних та деяких фізико-хімічних показників якості овочевої ікри. Тому зразок із найкращими показниками дегустаційної оцінки досліджено в лабораторії ТОВ «Плодо-овочевий комбінат «Херсон», а результати систематизовано в таблиці 2 у 2020 р.

Таблиця 2

Порівняння показників одержаних консервів з нормованими

Найменування показника	Характеристика	
	Овочева ікра відповідно до ДСТУ 3797-98	Ікра оздоровчого спрямування
1	2	3
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідна, рівномірно подрібнена маса без грубого насіння, перезрілих овочів і без видимого відділення рідини. Консистенція мажуча чи трохи зерниста	Ікра з мажучою консистенцією без сторонніх включень. Відділення рідини не спостерігається
Смак та запах	Властивий ікрі, вироблений з уварених баклажанів. Не допускається присмак прогірклої олії та наявність сторонніх присмаку та запаху	Гіркота не відчувається, проте наявний копчений аромат

Закінчення табл. 2

1	2	3
Колір	Однорідний по всій масі від світло-коричневого до коричневого	Ікра коричневого кольору по всій масі продукту
Сторонні домішки	Не допускаються	Відсутні
Масова частка жиру, %, не менше	9	9,5
Масова частка сухих речовин за рефрактометром, % не менше,	24%	25,5%
Масова частка хлоридів, %	1,2–1,6	1,2
Титруєма кислотність у перерахунку на яблучну кислоту, %, не більше	0,5	0,35
Масова частка мінеральних домішок, %, не більше	0,005	0,003

Як очевидно з таблиці 2, отримані результати не перевищують установлених норм або знаходяться в їхніх межах. Тому можна вказати, що лабораторно отримані результати підтверджують відповідність ікри оздоровчого спрямування, одержаної відповідно до запропонованої рецептури та вибраної технологічної схеми виробництва, державним вимогам, викладеним у ДСТУ 3797-98.

Для обґрунтування результату заміни технологічного процесу обжарювання на бланшування та рецептурного складу ікри оздоровчого спрямування розраховано вміст співвідношення білків, жирів та вуглеводів у готовій продукції в отриманому четвертому зразку відповідно до прийнятої методики розрахунку і довідкових даних. Результати наведені на рис. 1 та в табл. 3.

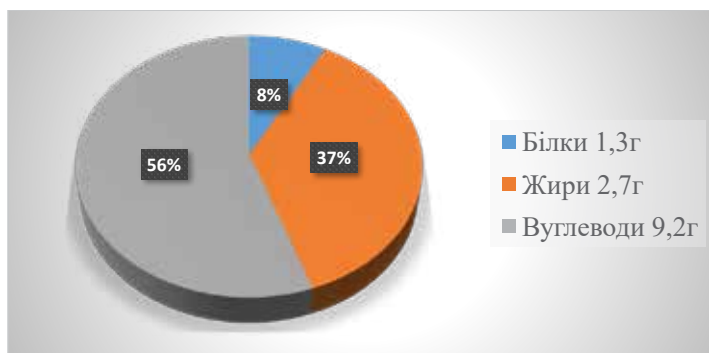


Рис. 1. Співвідношення білків, жирів та вуглеводів ікри оздоровчого спрямування в калорійності

Якщо порівняти результат із даними класичної овочевої ікри з баклажанів, стає очевидно, що знизився вміст жирів з 9 г до 2,7 г, тобто на 70%. Водночас калорійність готової продукції зменшилась на 54,3%, вміст вуглеводів збільшився на 18,47% за рахунок природніх цукрів, що містяться в гарбузі та чорносливі.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика вмісту макронутрієнтів у одержаній продукції з класичними консервами

Макронутрієнти	Ікра оздоровчого спрямування	Овочева ікра відповідно до ДСТУ 3797-98
Калорійність, ккал/100 г	67,5	148
Білки, г	1,3	1,2
Жири, г	2,7	9,0
Вуглеводи, г	9,2	7,5
Вода, г	82	-
Харчові волокна, г	2,8	-

Розрахунок витрат прямих та непрямих матеріальних витрат показав, що собівартість однієї банки ікри оздоровчого спрямування в тарі І-82-500 становить 17,32 грн (37 640,88 грн за 1 т готової продукції). Тоді ціна цієї продукції з урахуванням націнки виробника у 40% та 20% податків становить:

$$Ц = \left(C + \left(C \cdot \frac{0,4}{1} \right) \right) \cdot 1,2 = \left(17,32 + \left(17,32 \cdot \frac{0,4}{1} \right) \right) \cdot 1,2 = 29,10 \text{ грн.} \quad (1)$$

Отримана розрахунком ціна є нижчою за ціну, яка існує на ринку України. Тобто досліджуваний товар може конкурувати з аналогічною продукцією імпортного та вітчизняного виробництва [5], яка присутня на ринку України, навіть із націнкою роздрібною торгівлі та транспортними витратами, адже середня ціна на ікру з баклажанів становить 34 грн/шт. Варто зазначити, що ціновим лідером є ТМ «С бабушкиної грядки», яка реалізовує продукцію по 24 грн, проте вона відзначається надто темним кольором та візуально очевидними неоднорідними включеннями, тому за рахунок цих недоліків ціну знижено.

Висновки і пропозиції. За результатами проведених досліджень визначено, що показники якості одержаної ікри оздоровчого спрямування з використанням прийому заміни технологічного процесу знаходяться в межах установлених законодавством норм. Тому можна стверджувати про відповідність отриманих зразків ДСТУ3797-98.

Як результат, отримані дані та результати розрахунку економічної ефективності свідчать про можливість використання висунутих гіпотез стосовно технологічного процесу даного виду продукції в промисловому технологічному процесі. Проте перспективами подальших досліджень є визначення промислової стерильності консервів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бомба М.Я., Колодій С.Ю. Адаптація українських національних страв до сучасних вимог харчування. *Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпека*. 2015. С. 127.

2. Іванченко В.С., Чехович З.В. Перспективи інноваційного розвитку консервного виробництва в Українському Причорномор'ї. *Економічні інновації*. 2015. № 60 (1). С. 154–171.

3. Дуденко Н.В., Ольховська В.С. Математичне моделювання овочевих консервів із заданими споживними властивостями. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2013. № 1 (977). С. 116–122.

4. Воевода Н.В., Легутенко А.С. Оптимізація технології виробництва ікри оздоровчого спрямування з гарбузом. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Київ, 2020. Т. 31 (70). № 4. С. 208–212.

5. Economic efficiency of textile materials cutting designer costumes of hospitality facilities / O. Dzyundzya et. al. *VLAHNA a TEXTIL (FIBRES and TEXTILES)*. 2018. Vol. 25. Issue 4. P. 90–93.

REFERENCES:

1. Bomb, M.Ya., Kolodiy, S.Yu. (2015) Adaptation of Ukrainian national dishes to modern food requirements. The latest trends in food technology and quality and safety. P. 127. [in Ukrainian]

2. Ivanchenkov V.S., Chekhovych Z.V (2015) Prospects for innovative development of canning production in the Ukrainian Black Sea coast. *Economic innovations*. 2015. № (60 (1)). P. 154-171. [in Ukrainian]

3. Dudenko N.V., Olkhovskaya V.S. (2013) Mathematical modeling of canned vegetables with given consumer properties. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. № 1 (977) P. 116-122. [in Ukrainian]

4. Voevoda N.V., Legutenko A.S. (2020) Optimization of health caviar production technology with pumpkin. *Scientific notes of Tavriya National University named after V.I. Vernadsky*. Kiev. T. 31. № 4. P. 208-212. [in Ukrainian]

5. Economic efficiency of textile materials cutting designer costumes of hospitality facilities / O. Dzyundzya, (2018) et. al. *FIBERS and TEXTILES (FIBERS and TEXTILES)*. Vol. 25, Issue 4, P. 90-93. [in English]

УДК 664.694

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.9>

ВПЛИВ ОВОЧЕВИХ ПОРОШКІВ НА ЯКІСТЬ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

Дзюндзя О.В. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри інженерії харчового виробництва

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0002-1996-7065

Шинкарук М.В. – асистент кафедри інженерії харчового виробництва

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0003-3036-6778

У статті представлено проблему щодо раціонального та збалансованого харчування, яка є одним із важливих завдань сучасності. Багато наукових розробок спрямовано на здоров'я людини, вживаються різні заходи з його покращення, однак існує потреба в розширенні асортименту продукції спеціального призначення. Важливо відзначити, що овочеві та ягідні порошки, що є концентратами вихідної сировини, дозволяють збагатити страви необхідними нутрієнтами. Метою даної роботи є дослідження можливості виробництва крафтових макаронних виробів із локальної сировини та дослідження впливу великодисперсних порошків із гливи і томатів на якість макаронних виробів у дозуванні 1...5% до маси борошна. Під час огляду розглянуто продукцію різних торговельних марок. Проаналізовано, що додавання до складу макаронних виробів гречаної клітковини дозволяє задовольнити потребу організму в клітковині, що сприяє виведенню токсичних речовин і радіонуклідів, покращує метаболізм. Під час проведення дослідження використовували загальноприйняті методи та методики, сировина відповідала вимогам якості й безпечності. Досліджено вплив овочевих порошків різної дисперсності на якість макаронних виробів, спосіб внесення даних порошків. Установлено, що порошки позитивно впливають на міцність, стан поверхні та збереження форми макаронних виробів після варіння. Але для всіх макаронних виробів з овочевими порошками під час варіння характерною є часткова втрата кольору, який надає їм добавка. Зі збільшенням дозування порошків виробі мають більш гладеньку поверхню, набувають міцності, зменшується кількість мікротріщин, покращується здатність виробів до набухання. Кислотність знаходиться в межах норми. Збільшення дозування овочевих порошків сприяє покращенню варильних властивостей, підвищенню коефіцієнтів збільшення маси та об'єму порівняно з контролем. Очевидно, що із внесенням даних добавок зростає вміст харчових волокон у макаронних výroбах, які покращують здатність виробів до набухання. Зроблено висновки, що дозування овочевого глибового та томатного порошків під час виробництва макаронних виробів становить 1...3% до маси борошна. Дані порошки позитивно впливають на міцність, стан поверхні та збереження форми макаронних виробів після варіння, колір яких вони набувають за умов внесення порошку. Важливо відзначити, що це дає можливість переробляти борошно з підвищеною здатністю до потемніння.

Ключові слова: порошок гливи, порошок із томатів, макаронні вироби, якість продукції.

Dzyundzja O.V., Shinkaruk M.V. Influence of vegetable powder on the quality of pasta

The article presents the problem of rational and balanced nutrition, which is one of the important tasks of today. Many scientific developments are aimed at human health and various measures are being taken to improve it, but there is a need to expand the range of special purpose products. It is important to note that vegetable and berry powders, which are concentrates of raw materials, allow to enrich dishes with the necessary nutrients. The purpose of this work is to study the possibility of production of craft pasta from local raw materials and to study the effect of fine powders of oyster mushrooms and tomatoes on the quality of pasta in dosages of 1... 5% by weight of flour. During the literature review the products of different brands were considered. It is analyzed that the addition of buckwheat to pasta allows to meet the body's need for fiber, which promotes the excretion of toxic substances and radionuclides, improves metabolism. During the study, generally accepted methods and techniques were used, raw materials met the requirements of quality and safety. The influence of vegetable powders

of different dispersion on the quality of pasta, the method of application of these powders and the method of application of powders has been studied. But for all pasta with vegetable powders during cooking is characterized by a partial loss of color, which gives them the additive. With increasing dosage of powders, the products have a smoother surface, gain strength, reduce the number of microcracks, improve glassiness in breakage. Acidity is within normal limits. Increasing the dosage of vegetable powders helps to improve the cooking properties, increase the coefficients of weight and volume compared to the control. It is obvious that with the introduction of these additives increases the content of dietary fiber in pasta, which improves the ability of products to swell. It is concluded that the dosage of vegetable mushroom and tomato powders during the production of pasta is 1... 3% by weight of flour. These powders have a positive effect on the strength, condition of the surface and the preservation of the shape of pasta after cooking, the color of which they acquire under the conditions of powder application. It is important to note that this makes it possible to process flour with an increased ability to darken.

Key words: oyster mushroom powder, tomato powder, pasta, quality.

Проблема раціонального та збалансованого харчування є одним із важливих завдань сучасності. Зважаючи на швидкі темпи поширення різноманітних захворювань, що спричинені незбалансованістю раціонів, систематичною нестачею необхідних нутрієнтів, поширенням алергічних реакцій, виникає потреба в пошуку сировини, яка б задовольнила споживачів. Хоча багато наукових розробок спрямовано на здоров'я людини, вживаються різні заходи з його покращення, однак існує потреба в розширенні асортименту продукції спеціального призначення. Популярними стають смарт-виробництва та крафт, які здатні поєднати різноманітні тренди та виготовляти якісну і безпечну продукцію з використанням локальної сировини. Важливо відзначити, що овочеві та ягідні порошки, що є концентратами вихідної сировини, дозволяють збагатити страви необхідними нутрієнтами. Так, наприклад, додавання до тіста порошоків дозволяє збільшити вміст харчових волокон, цукрів, азотистих, мінеральних речовин, органічних кислот, вітамінів, натуральних барвників та інших компонентів порівняно з пюре та соками. Тому одним із напрямів раціонального використання місцевих інгредієнтів є виробництво крафтових макаронних виробів, збагачених овочевими та ягідними порошками. Адже завдяки інноваційним технологіям перероблення сировини можна отримати якісний порошкоподібний напівфабрикат з певними фізико-хімічними властивостями, що надалі дозволяє виготовити продукт з високими споживчими показниками.

Макаронні вироби користуються значним попитом, а зважаючи на доступність і попит на продукти оздоровчого спрямування, більшість виробників спрямовують свою діяльність на створення виробів спеціального призначення. Наукові розробки науковців знайшли відображення в продукції таких торговельних марок, як ТМ «МАК-ВАР ЕКОПРОДУКТ», ТМ «Козуб Продукт», ТМ «SoloMia» [1; 2; 3; 4].

В Україні проводиться значна робота з розширення асортименту макаронних виробів профілактичного призначення з метою підвищення імунітету та зниження впливу шкідливих чинників навколишнього середовища. Цьому сприяє використання нетрадиційної сировини й добавок, які містять біологічно активні речовини. Питання розширення асортименту макаронних виробів профілактичного призначення і використання нетрадиційної сировини та природних добавок у виробництві макаронів висвітлювались у праці А.В. Білічук [5].

Науковці Т.П. Голікова та О.О. Орлова дослідили й розробили макаронні вироби з порошком глоду колючого, збагачені вітамінами К, Е, групи В, органічними кислотами, макро- та мікроелементами (К, Са, Мд, Р, Fe), що також містять у порівнянні з контрольним зразком життєво необхідні для організму людини есенціальні нутрієнти – аскорбінову кислоту, пектинові та Р-активні речовини [6].

Аналізуючи сучасні тенденції, ми встановили, що додавання до складу макаронних виробів гречаної клітковини дозволяє задовольнити потребу організму в клітковині, що сприяє виведенню токсичних речовин і радіонуклідів, покращує метаболізм. Науковцями встановлено, що внесення її в кількості 30% забезпечує отримання відмінних органолептичних показників [7].

Встановлено, що перспективним є виробництво безглютенових макаронних виробів з кукурудзи тонкого помолу. Однак для забезпечення гарних органолептичних показників як додаткову сировину рекомендовано додавати желатин, карбоксиметилцелюлозу або використовувати екструдоване кукурудзяне борошно чи здійснювати заварювання частини кукурудзяного борошна тонкого помолу [2; 8].

Популярним є використання харчових порошків як натуральних барвників та джерела поживних нутрієнтів. Так, наприклад, додавання порошку фукуса і льняної муки до рецептури макаронних виробів підвищує вміст мінеральних речовин і вітамінів, а в разі додавання порошку з плодів мушмули в кількості 3% підвищується поживна цінність і детоксикаційні властивості [9].

Цікавою є ресурсозберігаюча технологія виробництва макаронів з додаванням (2–6%) лушпиння цибулі як натурального фарбника та джерела важливих речовин: вітамінів (групи В, С, Е, каротин, Р, РР), макро- і мікроелементів (кальцій, магній, фосфор, залізо, йод, цинк, натрій), фітонцидів, 25-ти антиоксидантів, флавоноїдів (кверцетин та рутин) [10].

Метою даної роботи є дослідження можливості виробництва крафтових макаронних виробів із локальної сировини та дослідження впливу великодисперсних порошків із гливи і томатів на якість макаронних виробів у дозуванні 1...5% до маси борошна.

Під час проведення дослідження використовували загальноприйняті методи та методики, сировина відповідала вимогам якості й безпечності.

У роботі досліджено можливість використання порошків у дозуваннях 1...5% до маси борошна. Внесення порошків у кількості меншій ніж 1% до маси борошна недоцільно для біологічного збагачення продукції, а у разі кількості більше ніж 5% вироби мають надмірно виражений смак та аромат, притаманний доданому порошку, а також суттєво зростає собівартість виробів.

Досліджували також спосіб внесення порошків: порошок дозували в сухому та у відновленому стані. Внесення в сухому вигляді під час порційного замішування тіста для кращого розподілення порошку проводили поступовим вимішуванням усієї наважки порошку з невеликою кількістю борошна, а потім із всією його кількістю в місильному кориті преса. Для внесення порошку у відновленому вигляді готували суспензію порошку з усією кількістю води, необхідною за рецептурою, за температури 40° С і витримували її протягом 30...40 хв., потім вносили під час замішування тіста традиційним способом як водозбагачувальну суміш.

Встановлено, що внесення порошків позитивно впливає на якість макаронних виробів та їхні варильні властивості (табл. 1). Зі збільшенням дозування порошків вироби мають більш гладеньку поверхню, набувають міцності, зменшується кількість мікротріщин, покращується скловидність у зломі. Кислотність макаронних виробів з використанням 1...5% порошку з гливи зростає на 0,5...1 град. і знаходиться в межах норми. Збільшення дозування овочевих порошків сприяє покращенню варильних властивостей, підвищенню коефіцієнтів збільшення маси та об'єму порівняно з контролем. Очевидно, що із внесенням даних добавок зростає вміст харчових волокон у макаронних виробах, які покращують здатність виробів до набухання.

Смак макаронних виробів притаманний внесеним овочевим порошкам, прийнятний для макаронних виробів. Але для всіх макаронних виробів з овочевими порошками під час варіння характерною є часткова втрата кольору, який надає їм добавка.

Таблиця 1

Вплив порошку гливи на якість макаронних виробів

Показник	Контроль (без добавки)	З порошком, внесеним у вигляді			
		порошку, %			суспен- зії, %
		1	3	5	3
Фізико-хімічні показники					
Вологість, %	13,2	12,7	13,0	12,5	12,5
Кислотність, град.	1,6	1,7	2,1	2,2	2,1
Міцність, Н	3,8	4,1	4,6	-	4,2
Варильні властивості:					
Колір	білий	кремовий з рожевим	світло- сірий	сірий	сірий
Форма	частково втрачається	зберігається, вироби не злипаються			
Смак і запах	властиві МВ	слабкий грибний	грибний	грибний	грибний
Коефіцієнт збільшення маси, K_m	1,4	1,6	2,0	2,1	2,15
Коефіцієнт збільшення об'єму, K_v	2,0	2,0	2,4	2,5	2,5
Кількість СР, що перейшли в ВВ, %	8,0	7,7	7,3	8,6	8,5
Кількість цукрів, що перейшли у ВВ, % до СР	0,9	-	1,7	-	2,1

Кількість сухих речовин, що перейшли у варильну воду під час варіння виробів з добавками, незначно зменшується під час внесення в тісто 1% порошку, а у разі подальшого підвищення дозування збільшується. Це може бути наслідком не погіршення властивостей виробів, а високого вмісту в овочевих і ягідних порошках цукрів (більше ніж 30%), які є водорозчинними сполуками. Тому визначали кількість цукрів, що перейшли у варильну воду. Встановлено (табл. 1), що під час внесення порошків кількість цукрів у варильній воді зростає. Ця кількість відповідає вмісту цукрів у овочевих порошках, що вносяться в макаронні вироби. Решта сухих речовин, які представлені іншими сполуками, зменшується. Таке явище може бути зумовлене тим, що вироби з добавкою мають щільну й міцнішу структуру, яка сприяє зменшенню переходу сухих речовин у воду. Але цукри, які містяться в порошках, розчиняються у воді під час замішування тіста, у процесі сушіння макаронних виробів дифундують із вологою до периферійних шарів і під час варіння розчиняються в гарячій воді. Унаслідок цього загальна кількість сухих речовин у варильній воді зростає.

Таблиця 2

Вплив порошку томатів на якість макаронних виробів

Показник	Під час внесення порошку, % до маси борошна			
	Контроль (без добавки)	1	3	5
<i>Фізико-хімічні показники</i>				
Вологість, %	12,4	12,6	12,6	12,0
Кислотність, град.	3,2	3,7	4,2	4,7
<i>Варильні властивості</i>				
Колір	кремовий	рожевий	червоний	багряний
Форма	частково втрачається		зберігається, вироби не злипаються	
Смак і запах	властивий макаронним виробам		відсутній кислий смак	
Коефіцієнт збільшення маси K_m	2,0	2,2	2,4	2,3
Коефіцієнт збільшення об'єму K_v	2,2	2,4	2,5	2,0
Кількість сухих речо- вин, що перейшли у варильну воду, %	11,0	10,6	11,3	12,0

Незначно впливає на міцність виробів та їхню якість спосіб внесення порошків великої дисперсності. Вироби дещо міцніші, коли добавка внесена у сухому вигляді, можливо тому, що в цьому випадку колоїди борошна і пектин конкурують у дозуванні води і гідратується білок борошна більшою мірою, ніж під час внесення пектину в набухлого вигляді. Внесення гливового високодисперсного порошку в гідратованому вигляді дає найбільш відчутне підвищення якості макаронних виробів. Але, як видно з таблиці 1, міцність виробів корелює із значеннями коефіцієнтів збільшення маси та об'єму. Тобто чим міцніші вироби, тим меншу кількість води вони можуть увібрати за однаковий час варіння.

У результаті дослідження впливу високодисперсного порошку томату на якість і варильні властивості макаронних виробів (табл. 2) встановлено позитивний вплив на стан поверхні, стан у зламі, міцність, а також збереження форми виробів після варіння. Відчутно зростають коефіцієнти збільшення маси та об'єму. Проте кислотність макаронних виробів підвищується більш відчутно порівняно з макаронними виробами з гливовим порошком, а саме на 0,5...1,5 град.

На якість макаронних виробів краще впливають високодисперсні овочеві порошки. Так, наприклад, вироби з високодисперсними порошками з томатів мають вищі показники K_m і K_v більш ніж у виробів з великодисперсними порошками із гливи (табл. 1 і табл. 2).

Висновки. Обґрунтовано, що дозування овочевого гливового та томатного порошоків під час виробництва макаронних виробів становить 1...3% до маси борошна. Дані порошки позитивно впливають на міцність, стан поверхні та збереження форми макаронних виробів після варіння, колір яких вони набувають за умови внесення порошку. Важливо відзначити, що це дає можливість переробляти борошно з підвищеною здатністю до потемніння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Сенсорна характеристика цільнозернових та овочевих макаронних виробів. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі* / О.О. Горячова та ін. 2018. № 1 (85). С. 104–113.
2. Рожно О.В. Розробка технології безглютенових макаронних виробів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 «Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів» ; Національний університет харчових технологій. Київ, 2018. 22 с.
3. Мазаракі А.А., Пересічний М.І., Кравченко М.Ф. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012.
4. Ринок макаронних виробів в Україні: гості з Європи можуть відчувати себе як вдома. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-makaronnyh-izdelij-v-ukraine-gosti-iz-evropy-mogut-chuvstvovat-sebya-kak-doma>
5. Білічук А.В. Шляхи розширення асортименту макаронних виробів профілактичного призначення *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2012. № 2. С. 30–32.
6. Голікова Т.П., Орлова О.О. Макаронні вироби з порошком глоду. Патент на корисну модель № 13495. 2017.
7. Kalyna V., Hola A. Макаронні вироби на основі клітковини гречаної. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2018. № 45 (1321). С. 160–165.
8. Rozhno O., Podobiy O., Yurchak V. Research of the Rheological Properties of Gelatine Solutions for Production of Gluten-Free Pasta. *Ukrainian food journal: international scientific journal*. 2016. № 5 (2). P. 290–298.
9. Разработка рецептуры макаронных изделий с повышенной пищевой ценностью. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов* / Э.Р. Биккулова и др. 2019. № 5. С. 62–68.
10. Чорна А.І., Дричик М.Ю. Макаронні вироби підвищеної харчової цінності. Патент на корисну модель № 143119. 2020.

REFERENCES:

1. Horyachova, O. O., Nazarenko, V. O., Ofilenko, N. O., Kotova, Z. YA. (2018). Sensorna kharakterystyka tsil'nozernovykh ta ovochevykh makaronnykh vyrobiv. [Sensory characteristics of whole grain and vegetable pasta.]. *Naukovyy visnyk Poltav's'koho universytetu ekonomiky ta torhivli*. № 1 (85). S. 104–113.
2. Rozhno, O. V. (2018). Rozrobka tekhnolohiy bez'hlyutenovykh makaronnykh vyrobiv: avtoref. [Development of technology of gluten-free pasta: author's ref.]. dys. ... kand. tekhn.nauk: 05.18.01 «Tekhnolohiya khlibopekars'kykh produktiv, kondyters'kykh vyrobiv ta kharchovykh kontsentrativ»; Natsional'nyy universytet kharchovykh tekhnolohiy. Kyiv, 22 s.
3. Mazaraki, A. A., Peresichnyy, M. I., & Kravchenko, M. F. (2012). Tekhnolohiya kharchovykh produktiv funktsional'noho pryznachennya: monohrafiya. [Technology of food products for functional purposes]. K.: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t.
4. Rynok makaronnykh vyrobiv v Ukraini: hosti z Yevropy mozhut' vidchuvaty sebe yak vdoma. [The pasta market in Ukraine: guests from Europe can feel at home]. [Elektronnyy resurs]-rezhym dostupu: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-makaronnyh-izdelij-v-ukraine-gosti-iz-yevropy-mohut-chuvstvovat-sebya-kak-doma>
5. Bilichuk A. V. (2012). Shlyakhy rozshyrennya asortymentu makaronnykh vyrobiv profilaktychnoho pryznachennya. [Ways to expand the range of pasta for preventive purposes]. *Khlibopekars'ka ta kondyters'ka promyslovist' Ukrainy*. № 2. S. 30–32.
6. Holikova T.P., Orlova O.O. (2017). Makaronni vyroby z poroshkom svitu. [Pasta with hawthorn powder]. Patent na model' vykorystannya № 13495.

7. Kalyna V. ta Kholo A. (2018). Makaronni vyroby na osnovi klitkovyny hrechanoi. [Pasta based on buckwheat fiber]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Novi rishennya u suchasnykh tekhnolohiyakh, № 45 (1321). S. 160–165.

8. Rozhno O., Podobiy O., Yurchak V. (2016). Doslidzhennya reolohichnykh vlastyivostey zhelatynovykh rozchyniv dlya vyrobnytstva bez:hlyutenovoyi pasty. [Research of the Rheological Properties of Gelatine Solutions for Production of Gluten-Free Pasta]. Ukrayins'kyi kharchovyy zhurnal: mizhnarodnyy naukovyy zhurnal. № 5 (2). R 290-298.

9. Bykkulova, E. R., Chernenkov, E. N., Chernenkova, A. A., Myronova, Y. V., & Badamshyna, E. V. (2019). Rozrobka retseptiv makaronnykh vyrobiv z pidvyshchenoyu pishchevoyu tsennistyu. [Development of a recipe for pasta with high nutritional value]. Tekhnolohiya ta tovarovedennya innovatsiynykh pishchevykh produktiv. № 5. S. 62-68.

10. Chorna, A. I., Drychik, M. YU. (2020). Makaronni vyroby zbil'shuyut' kharchovu vartist'. [Pasta of high nutritional value]. Patent na model' vykorystannya № 143119. 2020.

УДК 633.522:631.53.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.10>

НАСІННЯ НЕНАРКОТИЧНИХ КОНОПЕЛЬ – СИРОВИНА ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Резвих Н.І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4727-512X

Горач О.О. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерії харчового виробництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-2234-6320

У статті розглянуто світовий та вітчизняний досвід використання насіння ненаркотичних конопель для виготовлення харчових продуктів. На основі аналізу статистичних даних наведено динаміку посівних площ, відведених під ненаркотичні коноплі в Україні. Подано інформацію про вміст жирних кислот у олії ненаркотичних конопель і їх вплив на організм людини.

Відомо, що в нашій державі селекціонерами створені нові високопродуктивні сорти ненаркотичних конопель, які можуть бути головним джерелом натуральної сировини для харчової промисловості. Наведено інформацію про високопродуктивні сорти ненаркотичних конопель ЮСО-31, Гармонія, Вік 2020, Гляна, Глесья, Артеміда, Глухівські 51, Миколайчик та Глухівські 85 із вмістом тетрагідроканібінолу, близьким до нуля. Наведений перелік провідних підприємств з виготовлення харчової продукції із насіння ненаркотичних конопель та асортимент харчових продуктів в різних країнах світу.

У статті висвітлено дані щодо біологічної цінності конопляної олії, які були проведені вченими і спрямовані на визначення вмісту жирних кислот в олії ненаркотичних конопель.

Проведений аналіз харчової та біологічної цінності насіння ненаркотичних конопель показав, що воно містить 25% білків, 31% жирів та 34% вуглеводів. Також до його складу входить 20 амінокислот, з них 8 незамінних (які не синтезуються в людському організмі). Присутня велика кількість вітамінів Е, С, D, К, вітаміни групи В, а також каротиноїди (попередники вітаміну А, макро- і мікроелементи (залізо, магній, калій, фосфор, кальцій, марганець, цинк, сірка, хлор тощо).

В останні роки в Україні насіння ненаркотичних конопель використовують як харчову добавку для виготовлення харчових продуктів. Подано дослідження вчених України та світу з використання продуктів переробки конопель в харчових виробництвах. Отже, створення нових високопродуктивних сортів ненаркотичних конопель, розробка або вдосконалення способів одержання харчових продуктів з насіння ненаркотичних конопель дасть змогу розширити асортимент натуральних екологічно чистих харчових продуктів у нашій державі.

Ключові слова: насіння ненаркотичних конопель, конопляна олія, хлібобулочні вироби, борошно.

Rezvykh N.I., Gorach O.O. Non-drug hemp seeds as materials for the food industry

The article considers the world and domestic experience of using non-narcotic hemp seeds for food production. Based on the analysis of statistical data, the dynamics of sown areas allocated for non-narcotic cannabis in Ukraine is given. Information on the content of fatty acids in non-narcotic hemp oil and their effect on the human body is given.

It is known that in our country breeders have created new high-yielding varieties of non-narcotic hemp, which can be the main source of natural raw materials for food. Information on high-yielding varieties of non-narcotic cannabis YUSO-31, Harmony, Age 2020, Glyana, Glesia, Artemida, Glukhivsky 51, Mykolaychik and Glukhivsky 85 with a tetrahydrocannabinol content close to zero is given. The list of leading enterprises for the production of food products from non-narcotic hemp seeds and the range of food products in different countries.

The article highlights the data on the biological value of hemp oil, which were conducted by scientists and aimed at determining the content of fatty acids in the oil of non-narcotic hemp.

An analysis of the nutritional and biological value of non-narcotic cannabis seeds showed that it contains 25% protein, 31% fat and 34% carbohydrates. It also contains 20 amino acids, including 8 essential (which are not synthesized in our body). There is a large number of vitamins E, C, D, K, B vitamins, as well as carotenoids (precursors of vitamin A, macro- and micronutrients (iron, magnesium, potassium, phosphorus, calcium, manganese, zinc, sulfur, chlorine, etc.))

In recent years, non-narcotic hemp seeds have begun to be used in Ukraine as a food additive for food production. The research of scientists of Ukraine and the world on the use of hemp processing products in food production is presented. Thus, the creation of new high-yielding varieties of non-narcotic hemp, development or improvement of methods for obtaining food products from non-narcotic hemp seeds will allow to expand the range of natural organic food products in our country.

Key words: non-drug hemp seeds, hemp oil, bakery products, flour.

Вступ. Сьогодні ненаркотичні коноплі привертають до себе велику увагу як дослідників, так і виробників. Адже, по-перше, це технічна культура, яка здатна накопичувати величезну біологічну масу порівняно з іншими культурами, по-друге, вона може використовуватися для виготовлення необмеженого асортименту виробів у різних галузях промисловості і, по-третє, здатна очищувати забруднені території, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

Останнім часом у світі всі частини рослини конопель, а саме: волокно, виділене зі стебел, листя, насіння, костриця – використовуються в текстильній, харчовій, хімічній, фармацевтичній, косметичній промисловості та інших галузях народного господарства.

Перелік виробів, виготовлених із конопель, зараз наближається до 50 тис. найменувань [1].

Постановка проблеми. Сьогодні коноплі вирощують понад у 40 країнах світу. У Державному Реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, знаходиться 9 сортів конопель посівних селекції ІЛК НААН (ЮСО-31, Гармонія, Вік 2020, Гляна, Глесія, Артеміда, Глухівські 51, Миколайчик та Глухівські 85).

Українські підприємці переважно вирощують ненаркотичні коноплі як насінний матеріал – експортують сировину для посівів або використовують насіння для виготовлення харчових виробів.

У нашій державі селекціонерами створені нові високопродуктивні сорти ненаркотичних конопель, які можуть бути головним джерелом натуральної сировини для харчової промисловості. Проведений аналіз виробництва харчової продукції з насіння ненаркотичних конопель в світі показав, що в Україні вона використовується не в повному обсязі. У зв'язку з цим перед коноплепереробною галуззю постала необхідність у розробці або вдосконаленні найбільш ефективних способів переробки насіння ненаркотичних конопель, придатного для харчової промисловості. Все це сприятиме розширенню асортименту натуральних екологічно чистих харчових продуктів.

Мета дослідження – вивчення використання та перероблення насіння ненаркотичних конопель в Україні та світі у харчовій промисловості. У статті використані сучасні наукові та статистичні дані щодо обсягів вирощування ненаркотичних конопель в Україні, а також висвітлена можливість використання конопляного насіння в харчовій промисловості для отримання харчових продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У галузі коноплярства України сьогодні спостерігається незначний розвиток. За останнє десятиріччя відбулося збільшення посівних площ, відведених під ненаркотичні коноплі, та обсягів виробництва і заготівель волокна й насіння. Також у галузі відбувається активізація наукових установ, що займаються селекцією та насінництвом; переробкою насіння

конопель у харчові продукти. Свідчення цього є дані, представлені у вигляді діаграми на рис. 1. Порівняно з 2009 роком посівні площі, відведені під ненаркотичні коноплі, у 2016 році збільшилися майже у 12 разів, з 300 до 5000 га, а у 2019 році посівні площі ненаркотичних конопель у нашій країні становили 3470 га.

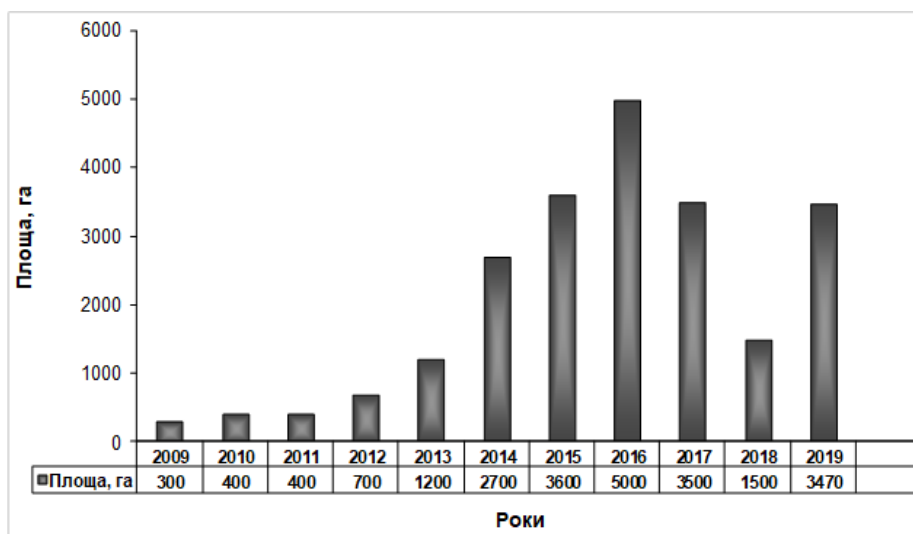


Рис. 1. Динаміка посівних площ, відведених під ненаркотичні коноплі в Україні

Проведений аналіз асортименту харчових продуктів, виготовлених у результаті переробки насіння ненаркотичних конопель найбільшими підприємствами-виробниками в різних країнах світу, показав, що асортимент харчових продуктів значно відрізняється від українського. Він значно вужчий, ніж в інших країнах. Так, з насіння ненаркотичних конопель у Північній Америці, Німеччині, Великобританії виробляють хліб, печиво, йогурти, млинчики, морозиво, макаронні вироби, гамбургери, піцу, сіль-замінник, майонез, сир та різноманітні напої (молоко, лимонад, пиво, вино, кавовий напій). Основними продуктами переробки насіння промислових конопель в Україні є лише оброблене насіння конопель, конопляна олія, конопляне борошно, конопляні висівки та конопляний протеїн (табл. 1).

Таблиця 1

**Провідні підприємства з виготовлення харчової продукції
з насіння ненаркотичних конопель [2]**

Країна	Назва підприємства-виробника	Вид товару
1	2	3
Німеччина	Dupetit	Напої, продукти харчування
	Hanf @ Natur	Продукти харчування
	TURN – hanfbier	Алкогольні вироби
Нідерланди	HempFlax	Олія
	Eurosales	Напої, продукти харчування
	Hemperium	Солодощі, напої

Закінчення табл. 1

1	2	3
Чехія	Becherovka	Алкогільні вироби
	CannabisPharma-derm, s.r.o	Харчові добавки
	Hempoints.r.o	Продукти харчування, солодоці
	Trompetol	Продукти харчування
Австралія	TasmanianHempCompany	Олія
	G.R.E.E.N HempAustPtyLtd.	Продукти харчування
Австрія	LaminaKraftderNatur	Продукти харчування
	FrenkenbergerHanfprodukte	Молочні вироби
	TakeHempGmbH	Алкогільні вироби
Бельгія	PurChanvre	Продукти харчування
Франція	CannabisPharmaderm	Харчові добавки
Швейцарія	HempOilFromTheAlps	Олія
США	AsherHempGelato, Inc	Морозиво
	FrenchMeadowBakery	Хлібобулочні вироби

Насіння ненаркотичних конопель містить 30–35% олії, яка має унікальні властивості і широко застосовується в харчовій, кондитерській, фармацевтичній, медичній, косметологічній та лакофарбній промисловості. Конопляна олія містить такі найважливіші кислоти: насичені – пальмітинова Palmitic, стеаринова Stearic, арахінова, бегенова, ненасичені – ліноленова, олеїнова Oleic, лінолева Linoleic, гамма-ліноленова – Gamma Linolenic і альфа-ліноленова – Alpha Linolenic.

Для підтвердження даних щодо біологічної цінності конопляної олії вченими були проведені дослідження, спрямовані на визначення вмісту жирних кислот у олії ненаркотичних конопель (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст жирних кислот у олії ненаркотичних конопель

Назва жирних кислот	Середній вміст, %
пальмітинова (насичена C16)	7,9
стеаринова (ненасичена C18)	3,7
олеїнова (мононенасичена C18)	11,0
лінолева (диненасичена C18)	43,0
ліноленова (поліненасичена C18)	21,5

Лінолева, ліноленова, альфа-ліноленова та арахінова жирні кислоти (або вітамін F) запобігають відкладанню холестерину в артеріях, забезпечують здоровий стан шкіри і волосся, позитивно впливають на активність залоз внутрішньої секреції, допомагають знизити масу тіла, спалюючи насичені жири. Дефіцит вітаміну F викликає такі захворювання, як екзема і прищі.

Гамма-ліноленова кислота – найважливіший компонент багатьох ліків, що нормалізують обмін речовин в організмі та застосовуються для лікування численних недуг, серед яких слід відзначити: цукровий діабет, атеросклероз, гіпертонію, реабілітацію після інфаркту, виразки шлунку, тривале незагоювання ран, зниження потенції у чоловіків, безплідність, фригідність, порушення зору, депресію, онкологічні захворювання та багато інших хвороб.

Стеаринова кислота – один з важливих компонентів мила. Широко використовується в косметичній промисловості, входить до складу багатьох косметичних засобів. Позитивно впливає на шкіру – пом'якшує і надає їй приємної матовості, сприяє проникненню біологічно активних добавок. Стеаринова кислота і стеарин (суміш стеаринової та пальмітинової кислот у співвідношенні 3:1 з домішкою миристинової, лауринової і олеїнової кислот) є одним з основних компонентів захисних, зволожуючих та інших емульсійних косметичних виробів.

Пальмітинова кислота, як і стеаринова, використовується в косметичній галузі. У фармацевтичній технології використовується як допоміжна речовина (емульгатор, пенетрант, ковзна речовина) при створенні ЛП для перорального та місцевого застосування. Входить до складу імплантатів, що містять інсулін, як пролонгуюча речовина.

Олеїнова кислота – це вища жирна моновенасичена кислота, що входить до складу ліпідів (жирів), що беруть участь у побудові біологічних мембран і в значній мірі визначають властивості цих ліпідів. Заміна олеїнової кислоти в ліпідах біологічних мембран на іншу жирну кислоту різко змінює таку біологічну властивість мембран, як їх проникність. Присутність більших кількостей олеїнової кислоти в жирі жирових депо людини забезпечує стійкість депонованих ліпідів до окиснення при помірній кількості антиоксидантів.

У промисловості олеїнова кислота використовується як основа для одержання лаків, покриттів, емалей, оліф, фарб. Її застосовують як пластичну речовину в парфумерії, а солі її – в якості мийних засобів.

Аналіз харчової та біологічної цінності насіння ненаркотичних конопель показав, що воно містить 25% білків, 31% жирів та 34% вуглеводів. Також до його складу входить 20 амінокислот, з них 8 незамінних (які не синтезуються в людському організмі). Присутня велика кількість вітамінів Е, С, D, К, вітаміни групи В, а також каротиноїди (попередники вітаміну А, макро- і мікроелементи (залізо, магній, калій, фосфор, кальцій, марганець, цинк, сірка, хлор тощо) [3].

Проблематиці використання продуктів переробки конопель в харчових виробництвах присвятили свої дослідження вчені України та світу.

У 2016 році запатентовано використання насіння конопель у різних сферах як рослинної харчової добавки, що складається з рослинного елемента. Як рослинний елемент запропоновано використовувати лущене насіння коноплі або його похідні у вигляді борошна, масла, порошку, протеїну, висівки. У хлібобулочних і кондитерських виробках рекомендують додавати до 25–30 % конопляного борошна від основної кількості борошна у таких випічках, як хліб, млинці, печиво, крекери, кекси. Також рекомендують застосовувати конопляне насіння або борошно як панірування для м'ясних та овочевих котлет, як натуральний загущувач для супів, соусів та підлив. Конопляний протеїн рекомендують вживати людям, що займаються спортом. Додавання конопляних висівок у хліб покращує його смак, позитивно впливає на роботу кишечника та шлунка. Запропоновано використовувати конопляну добавку при приготуванні різних настоянок, пива, лікєро-горілчанних виробів, що буде додавати смакових та корисних властивостей названим продуктам [4].

Також запатентовано рецептуру виготовлення харчової пасти з насіння коноплі з медом. Вона полягає в тому, що насіння коноплі перетирають до стану виділення олійної основи між кам'яними жорнами, потім насіння коноплі обробляють за температури не більше 37°C з добавкою солі. Харчова паста додатково містить мед і як сіль містить морську сіль, із таким співвідношенням складових інгредієнтів,

в мас. %: насіння коноплі – 89,9, мед натуральний – 10, морська сіль – решта. Одержана таким способом паста забезпечує розширення асортименту натуральних екологічно чистих харчових продуктів у вигляді пасти з високими смаковими і оздоровчими властивостями, що сприяють здоровому способу харчування. Харчова цінність: вміст жирів не більше 30 г, білків – 27–28 г і вуглеводів – 20–21 г. Вживають пасту, намазуючи на хліб, додаючи як заправку до каш чи салатів, роблячи з нею коктейлі, чи просто їдять ложкою, як самостійно, так і з фруктами чи овочами. Паста чудово тамує голод та забезпечує відчуття ситості впродовж тривалого проміжку часу [5].

Вітчизняними вченими Н.О. Фалендиш та Ю.В. Бадрук встановлено, що в разі внесення конопляного борошна та олії відбувається збагачення хліба незамінними амінокислотами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами та поліненасиченими жирними кислотами групи $\omega 3$ та $\omega 6$. За внесення конопляного борошна спостерігається підвищення газоутворювальної здатності тіста та кислотонакопичення, що сприяє скороченню тривалості його дозрівання на 5–22 хв. Внесення конопляного борошна забезпечує поліпшення формостійкості тіста за рахунок збільшеного вмісту клітковини, пентозанів та лецитину. Хліб, що містить конопляне борошно та олію, має приємний конопляний смак та аромат, темнозабарвлену м'якушку із зеленуватим відтінком [6].

Л.А. Журавльова, А.П. Журавльов та М.Б. Терехов дослідили вплив конопляної олії на якість пшеничного хліба із борошна вищого сорту. Встановили, що при додаванні конопляної олії в кількості 2% якість хліба не погіршується, а такі показники, як питомий об'єм, пористість м'якушки, колір скоринки, покращуються. Додавання конопляної олії при виробництві пшеничного хліба дозволяє отримати цінний продукт дієтичного та оздоровчого характеру за рахунок вмісту ненасичених жирних кислот.

О.О. Мацьків, М.І. Солод, В.О. Василькевич та В.В. Івасів дослідили купажування лляної, гірчиної та конопляної олій. Вони встановили, що використання суміші лляної, гірчиної та конопляної олій у співвідношенні 2:1:3 та 3:1:4 дає змогу збільшити термін придатності продукту та забезпечити оптимальний баланс найважливішими для здоров'я людини ненасиченими жирними кислотами [7].

Т.Т. Носенко, В.І. Бабенко, Ю.Ю. Дячук запатентована соняшниково-конопляна купажована олія, що містить суміш двох олій: соняшникової високоолеїнової рафінованої дезодорованої та конопляної нерафінованої олій. Використання двох олій дозволяє збалансувати жирнокислотний склад, підвищити стабільність за рахунок підвищення вмісту олеїнової кислоти та збагачення біологічно активними речовинами і природними антиоксидантами [8].

Дослідницею Н.А. Совою була розроблена технологія комплексної переробки насіння промислових конопель, що забезпечує виробництво інноваційних біологічно активних харчових продуктів (обрушеного насіння, олії, «протеїну», борошна та висівки) з мінімальною кількістю відходів. Нещодавно було розроблено та затверджено нормативну документацію на готову конопляну продукцію: ТУ У 10.4-39224310-001:2019 «Олія конопляна. Технічні умови», ТУ У 10.4-39224310-002:2019 «Борошно конопляне, висівки конопляні, протеїн конопляний. Технічні умови» і ТУ У 10.3-39224310-003:2019 «Насіння конопель обрушене. Технічні умови» [7].

Польські вчені вивчили можливість використання конопляного борошна під час виробництва макаронних виробів. Результати досліджень свідчать про можливість використання компонентів коноплі для покращення харчової цінності

макаронних виробів за збереження їх безпечності. Макаронні вироби з додаванням 30% конопляного борошна характеризують як продукт з високим вмістом білка і клітковини, що мають задовільні органолептичні властивості та гарні кулінарні якості [9].

Канадські вчені розробили методику отримання конопляного молока, яке не змінює колір та не гіркне під час пастеризації [10].

Висновки і пропозиції. Аналіз літературних джерел, присвячених проблемам вирощування та переробки насіння ненаркотичних конопель в харчовій промисловості свідчить про великий потенціал галузі. Створення нових високопродуктивних сортів ненаркотичних конопель, розробка або вдосконалення способів одержання харчових продуктів з насіння ненаркотичних конопель дасть змогу розширити асортимент натуральних екологічно чистих харчових продуктів у нашій державі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Чурсіна Л.А., Богданова О.Ф., Ляліна Н.П., Резвих Н.І.; Товарознавство і стандартизація продукції безнаркотичної коноплі : монографія / за заг. ред. Л.А. Чурсіної. Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2012, 308 с.
2. Бойко Г.А., Тіхосова Г.А., Кутасов А.М. Технічні коноплі: перспективи розвитку ринку в Україні. *Товари і ринки*. 2018. № 1. С. 110–120.
3. Коноплі : монографія / за ред. М.Д. Мигалія, В.М. Кабанця. Суми : Видавничий будинок «Еллада», 2011. 384 с.
4. Харчова добавка конопляна : пат. 112000 Україна : A23L 29/00. A23L 33/105/. № у 2016 06676; заявл. 17.06.2016; опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22. 4 с.
5. Харчова паста "ЕЛІТФІТО" із насіння коноплі з медом : пат. 141349 Україна: A23L 33/00/. № у 20190770; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. № 7. 5 с.
6. Хліб "Конопляний": пат. 120719 Україна: A21D 13/00/. № у 201705908 ; заявл. 13.06.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 4 с.
7. Сова Н.А. Технологія комплексної переробки насіння промислових конопель : дис. ... канд. тех. наук: 05.18.02 – технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів і комбікормів, олійних і луб'яних культур. Херсон, 2019. 330 с.
8. Соняшниково-конопляна купажована олія : пат. 128203 Україна: A23D 7/00/. № у 201802521; заявл. 13.03.2018; опубл. 10.09.2018, Бюл. № 17. 4 с.
9. Пахомська О.В. Науковий підхід до створення хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. № 25. Т. 2. С. 276–283.
10. Роль Н.В., Надточій В.М., Цебро А.Д., Вовкогон А.Г., Мерзлова Г.В., Калініна Г.П., Гребельник О.П. Конопляна сировина: нові перспективи для харчової промисловості : зб. наук. праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2021. № 1. с. 152–158.

REFERENCES:

1. Chursina L.A., Bogdunova O.F., Lulina N.P., Rezvykh N.I. Товароведение и стандартизация продукции безнаркотической конопли: Монография [Commodity science and standardization of narcotic cannabis products: Monograph]. Kherson: PP Vishemirsky V.S., 2012.
2. Boiko H.A., Tikhosova, H.A., Kutasov A.M. (2018). Tekhnichni konopli: perspektyvy rozvytku rynku v Ukraini [Technical hemp: prospects for market development in Ukraine]. *Tovary i rynky* [Goods and markets]. no. 1, pp. 110–120.
3. [Author]; fored. M.D. Migalya, V.M. Kabantsya.(2011) Konoply: monografia [Hemp: monograph] – Sumi: Vidavnicхий booth "Ellada", (In Ukrainian).
4. Shandursky V.V. Harchova dobuvka konoplyna: pat. № 112000 Ukraina, A23L 29/00. A23L 33/105 /; № 2016 06676; zajavl. 17.06.2016; opubl. 11/25/2016. Bjul.

№ 22. [Hemp food supplement: Ukraine, Pat. № 112000 Ukraine, A23L 29/00. A23L 33/105 /.; № 2016 06676; declared 17.06.2016; publ. 11/25/2016 Bull. № 22.].

5. Dziubanyuk N.O. Kharchova pasta "ELITFITO" iz nasinnya konopli z medom: pat. № 141349 Ukraina, A23L 33/00.; № u201907707; zajavl. 07/08/2019; opubl. 10.04.2020., Bjul. № 7. [Food paste "ELITFITO" from hemp seeds with honey: US Pat. № 141349 Ukraine, A23L 33/00; № u201907707; declared 07/08/2019; publ. 10.04.2020 Bull. № 7.].

6. Falendish N.O., Badruk U.V. Khlib "Konoplyanyy" pat. № 120719 Ukrai'na, A21D 13/00.; № u201705908; zajavl. 13.06.2017; opubl. 10.11.2017. Bjul. № 21. [Bread "Hemp":: US Pat. № 120719 Ukraine, A21D 13/00; № u201705908; declared 13.06.2017; publ. 10.11.2017 Bull. № 21.].

7. Sova N.A. (2019). Technology of complex processing of seeds of industrial hemp. Extended abstract of candidate's thesis. Kherson: HNTU [in Ukrainian].

8. Nosenko T.T., Babenko V.I., Vovk H.O. Sonyashnykovo-konoplyana kupazhovana oliya: pat. № 128203 Ukraina, A23D 7/00/.; № u 201802521; zajavl. 13.03.2018; opubl. 10.09.2018., Bjul. № 17. [Sunflower-hemp blended oil: US Pat. № 128203 Ukraine, A23D 7/00/.; № u 201802521; declared 13.03.2018; publ. 10.09.2018 Bull. № 17.].

9. Pakhoms'ka O.V. (2019). Naukovyy pidkhid do stvorennya khlibobulochnykh vyrobiv funktsional'noho pryznachennya [Scientific approach to the creation of functional bakery products.]. Naukovi pratsi Natsional'noho universytetu kharchovykh tekhnolohiy. – Scientific works of the National University of Food Technologies, № 25. T. 2. S. 276–283 [in Ukrainian].

10. Rol' N.V., Nadochij V.M., Cebro A.D., Vovkigon A.G., Merzlova G.V., Kalinina G.P., Grebel'nyk O.P. Konopljana syrovyna: novi perspektyvy dlja harchovoi' promyslovosti. Zbirnyk naukovykh prac' «Tehnologija vyrobnyctva i pererobky produkciï tvarynnnyctva», 2021. № 1. p. 152–158.

UDC 664.1.05

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.11>

METHOD OF OBTAINING FOOD CONCENTRATE FROM FISH MEAT

Samilyk M.M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Technology and Food Safety,
Sumy National Agrarian University
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080

Guo Wangwang – Master Student at the Department of Technology and Food Safety,
Sumy National Agrarian University
ORCID ID: 0000-0002-6937-6407

An urgent issue of food safety is the creation of protein-containing food products. Fish remains one of the key sources of protein. In this article, the object of research is hake fish, which has been converted into a soup concentrate by infrared drying and grinding. The results of the experiment showed that with an increase in the irradiation distance, the sensory properties of the hake are improved, but at the same time the drying time increases. When changing the radiation distance, the rate of change in the drying time is lower than the rate of change in the drying temperature. In the temperature range from 55 °C to 65 °C, the moisture content of the dry hake base decreases exponentially over time. As the temperature rises, the drying time for safe storage is shortened and vice versa. Therefore, in order to save business and time costs, the radiation distance must be reduced in accordance with the premise of ensuring the quality of drying. At the final stage of drying, a large amount of free water in the hake is removed by evaporation. As a consequence, it is difficult to remove the internal bound water and chemical water due to the drying effect, and the drying curve becomes flat. We have presented the preparation technologies and recipes for fish soup concentrate. According to this technology, visushina fish is ground to a fine degree of grinding and mixed with other recipe components. The recipe for the soup concentrate is mathematically optimized. The optimal ratio of the recipe components was selected: 20 g of hake powder, 3 g of salt, 0.7 g of sodium glutamate, 0.5 g of ginger powder, 4 g of white sugar, 0.5 g of konjac gum, 0.9 g of xanthan gum, 0.6 g guar gum. Due to the high nutritional value of hake fish, the resulting product will have a high content of proteins, vitamins A and D, calcium, magnesium, selenium and other vital nutrients. Dry powdery structure makes it convenient for storage and transportation

Key words: hake fish, food concentrate, flavor enhancers, infrared drying, grinding, mathematical model.

Самілик М.М., Гуо Вангванг. Спосіб отримання харчового концентрату із м'яса риби

Актуальним питанням харчової безпеки є створення харчових продуктів, що містять білок. Риба залишається одним із ключових джерел білків. У цій статті об'єктом дослідження є риба хек, яка шляхом інфрачервоного сушіння та подрібнення була перетворена на концентрат супу. Результати експерименту показали, що зі збільшенням відстані випромінювання сенсорні властивості хека покращуються, але водночас збільшується тривалість сушіння. Зі зміною відстані випромінювання ступінь зміни тривалості сушіння нижчий, ніж ступінь зміни температури сушіння. У діапазоні температур від 55 °C до 65 °C вологість сухої основи хека зменшується з часом експоненційно. З підвищенням температури тривалість сушіння, яка забезпечує його безпечне зберігання, скорочується, і навпаки. Тому, щоб заощадити матеріальні ресурси та час, відстань випромінювання має бути зменшена відповідно до передумови забезпечення якості сушіння. На кінцевій стадії висушування велика кількість вільної води у хека виводиться за рахунок випаровування. Як наслідок – важко видалити внутрішню зв'язану воду та хімічну воду через ефект сушки, і крива сушіння поступово стає пологою. Нами представлено технологію приготування та рецептуру рибного супового концентрату. Відповідно до цієї технології, висушена риба подрібнюється до тонкого ступеня подрібнення і змішується з іншими рецептурними компонентами. Рецепт супового концентрату математично оптимізований. Було вибрано оптимальне співвідношення компонентів рецептури: 20 г порошку хека, 3 г солі, 0,7 г глутамату натрію, 0,5 г порошку імбиру, 4 г білого цукру, 0,5 г кон'ячної

камеді, 0,9 г ксантанової камеді, 0,6 г гуарової камеді. Завдяки високій харчовій цінності риби хек отриманий продукт буде мати високий вміст білків, вітамінів А і D, кальцію, магнію, селену та інших життєво необхідних нутрієнтів. Суха порошкоподібна структура робить його зручним для зберігання та транспортування.

Ключові слова: риба хек, харчовий концентрат, підсилювачі смаку, інфрачервона сушка, помел, математична модель.

Introduction. In the XXIst century, the world's population continues to grow. It is expected to reach 9.1 billion people by 2050. A pressing issue is the ability of agriculture to provide people with sufficient food, especially high quality protein. As a source of many biologically essential substances, marine resources are attracting more and more attention from scientists. The World Food and Agriculture Organization has identified aquatic foods as the most promising protein source. Therefore, the rational development and use of marine resources has become a hot spot of attention of scientists who study nutritional issues.

Cod is a high-quality marine fish resource with high economic value and nutritional value. In addition, it is a cold-water bottom fish, which inhabits deep waters, so it is less polluted, so it is favored by consumers all over the world. At present, the total output of cod in the world is about 6.22 million tons, accounting for about 8% of the total marine catch in the world [1]. However, due to the influence of climate [2], ocean acidification [3–5] and overfishing [6], the sustainable development of cod resources is seriously threatened. Coupled with the increasing demand for cod resources in the market, the main producing countries of cod have adopted the mode of restricting fishing and improving fishery development [7], breeding [8–9] and other means to deal with. Based on this situation, coupled with the development of seafood processing and the increasing demand of consumers, it directly increases the possibility of fake cod products, such as shoddy, adulteration, mislabeling and so on [10–12].

Drying is a very important process in the processing of raw materials, which can reduce the moisture content of the material and suppress the activity of enzymes. The main task of drying is to ensure long-term storage and use of dried products [13]. The storage time of the material depends on its moisture content and storage temperature. After drying, the moisture content of the material must reach its safe value before it can be stored for a long time. According to national standards and empirical data, the moisture content of dried fish does not exceed 25%.

The quality of dried fish products is mainly determined by the following parameters:

1. Color and shine. The products must have the characteristic color of dried fish, the surface of the carcass must be clean and dry, and the flesh must be gray or red [14];
2. Smell. All types of dried fish have their own unique aroma. The presence of acidity indicates spoilage, fatty acid content [15–16];
3. Appearance and form. The shape must be complete, free from breakages, defects or cracks and meet certain specifications [17–18];
4. The degree of dryness. The maximum water content in dried fish should not exceed 25% [19–20];
5. Salt content. The maximum should not exceed 15%, a small amount of salt is allowed on the surface [21];
6. Content of impurities. The surface must not be dirty. If the skin is dirty, it is a defective product, which indicates poor quality of the salt used or that the sanitary conditions during processing are inadequate [22].

Material and methods. The main raw materials used in the experiment: Pacific hake, sea salt, monosodium glutamate, ginger powder, white sugar, konjac gum,

xanthan gum, and guar gum. During the research, the following control and measuring devices and devices were used: electronic scales Pioneer cp3102 (Ohaus Instrument Shanghai Co., Ltd.), a homemade infrared drying device consisting of an intelligent control transmitter with a digital display AOT5000 and IRI500D, an interactive infrared thermometer, an electric quartz direct heating infrared emitter, non-contact probe and cabinet. The power of the frequency heating tube was 1000 W, and the temperature measurement range of the thermometer was 0–500 °C.

The principle of operation of an infrared radiating heating element is that directional radiation and other devices become an infrared emitter, which converts electrical energy into infrared radiated energy to achieve rapid drying [23] and it mainly uses the medium and long band of infrared rays, and the band range is 25–1000 μm [24]. In our experiment, we used an electric quartz infrared radiator of direct heating, which combines a heating element and a radiating element of a radiator. Infrared technology Infrared radiation technology is a new type of pollution-free drying technology with high efficiency, energy saving and environmental protection requirements. It can radiate to a certain depth and be heated evenly. It also has the advantages of high efficiency, low energy consumption and little pollution [25–26]. At present, it has been applied to many food manufacturing processes, such as drying, heating, freeze-drying, food baking and cooking [27].

The hake was cut into homogeneous pieces of 2 x 2 x 2 cm, the pieces were laid out on an infrared drying mesh, in which the drying temperature was controlled using an online infrared thermometer. During the drying process, the samples were weighed every 30 minutes using an electronic balance. Weighing was carried out to determine the mass moisture content of the product in real time. The drying process was carried out until a safe water content of 25% in the hake was achieved. The experimental is shown in table 1.

Table 1

Drying mode		
Test factor	Drying temperature, °C	Radiation distance, mm
1	55	200
2	55	250
3	55	300
4	60	200
5	60	250
6	60	300
7	65	200
8	65	250
9	65	300

The dried product was ground using a household mill and sieved through a 100 mm sieve. A homogeneous fish powder was obtained. Then all the recipe components were mixed: hake powder (20.0–22.0%), table salt (2.0–4.0%), sodium glutamate (0.54–0.74%), ginger powder (0.33–0.53%), white sugar (2.5–4.5%), konjac gum (0.3–0.5%), xanthan gum (0.75–0.95%), guar gum (0.5–0.7%). Soups were prepared on the basis of the mixture with different proportions of components and water. The preparation of the food soup concentrate was carried out on the basis of the existing technology [28]. The addition of flavor enhancers improves the taste of the finished product.

To obtain the optimal ratio of the constituent components, the quality of several samples of formulas was assessed by the method of fuzzy mathematics.

Index measurement. The initial moisture content of the hake was measured by direct drying in a muffle furnace at 105 °C. For this, 50 grams of a hake sample was placed in an oven and dried to constant weight M . The experiment was repeated 3 times. Following the result of the average of the three tests, the initial water content in the hake was calculated using the formula :

$$W_c = \frac{M_c - M_{ad}}{M_c} 100\%$$

W_c – initial moisture, %;

M_c – initial mass, g;

M_{ad} – weight of absolutely dry material, g.

The real-time dry matter moisture content of the hake is calculated based on the material mass at time t , the initial moisture content and the initial fish mass.

$$M_d = \frac{M_t - Mg}{Mg} 100\%$$

$$M_g = M_c - M_c \cdot W_c$$

M_d – moisture content on dry basis of material, %;

M_t – total mass of the material at time t , g;

M_g – mass of the dry substance of the material, g.

The real-time wet basis moisture content of hake is measured according to the method of GB/5009.3-2010 “Determination of Moisture in Food”.

Results and discussions.

Figures 1, 2 and 3 show the infrared radiation of hake at a radiation distance of 200 mm, particle size $2 \times 2 \times 2$ cm and various surface drying temperatures (55 °C, 60 °C, 65 °C). The curve of the moisture content of the dry base over time during the drying process is the drying curve. A single layer thickness was used during the experiment.

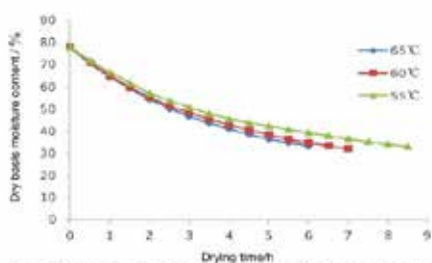


Figure 1 Drying curves at different temperatures when the radiation distance is 200mm

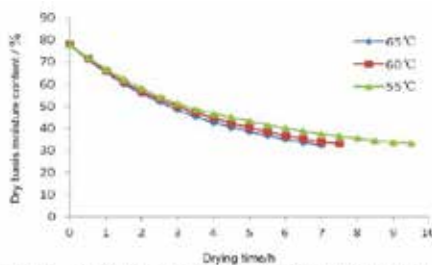


Figure 2 Drying curves at different temperatures when the radiation distance is 250mm

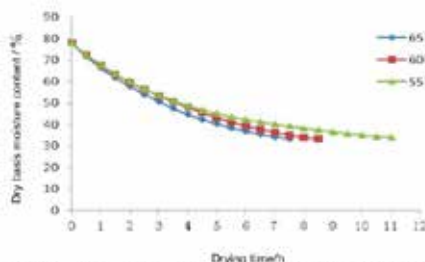


Figure 3 Drying curves at different temperatures when the radiation distance is 300mm

From Figures 1, 2, and 3, it can be seen that the water content of hake with the same radiation distance and different surface drying temperatures varies with time. When the radiation distance is 200 mm, the surface drying temperature is 55 °C, 60 °C, 65 °C, the drying time is 9h, 7.5h, 6.5h respectively; when the radiation distance is 250 mm, the drying temperature is 55 °C, 60 °C, 65 °C Under the conditions, the drying time is 9.5h, 8h, 7h, respectively; when the radiation distance is 300 mm, the drying temperature is 55 °C, 60 °C, 65 °C, and the drying time is 11h, 9h, 8h, respectively.

From 55 °C to 65 °C, the moisture content of the hake dry base decreases exponentially with time. As the drying temperature increases, the time required for the hake to reach safe storage moisture is shorter, and vice versa. In the initial stage of hake drying, the moisture content is relatively high, the moisture difference between the inside and outside of hake is large, and the dehydration speed is relatively fast. At this time, there is no obvious preheating stage, and the drying curve is relatively steep, then it quickly enters the drying slowdown period. At the end of the drying stage, a large amount of free water in the hake fish is discharged through vaporization, and the internal bound water and chemical water are difficult to be discharged through the drying effect, and the curve gradually becomes flat.

Figures 4, 5, and 6 are the drying temperature of the hake on the same surface, the loading capacity is $2 \times 2 \times 2$ cm, and the hake is dried during the infrared drying process under different radiation distances (200 mm, 250 mm, 300 mm). The curve of the base moisture content changing with time is the drying curve.

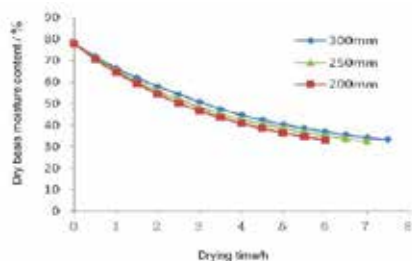


Figure 4 Drying curve of surface drying temperature 65°C and different radiation distance conditions

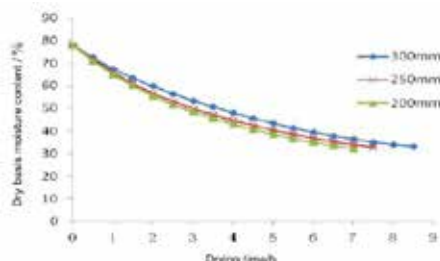


Figure 5 Drying curve of surface drying temperature 60°C and different radiation distance conditions

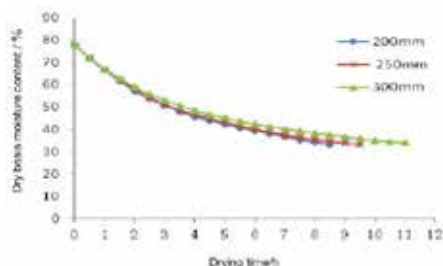


Figure 6 Drying curve of surface drying temperature 55°C and different radiation distance conditions

It can be seen from Figures 4, 5, and 6 that when the surface drying temperature of hake fish is the same, as the radiation distance increases, the drying rate decreases, and the drying time to the end point is correspondingly extended. The surface drying temperature of hake fish is 65 °C, when the radiation distance is 200 mm, 250 mm, 300 mm, the drying time is 6h, 7h, 7.5h respectively; when the surface drying

temperature is 60 °C, the radiation distance is 200 mm, 250 mm, 300 mm, the drying time is respectively 7h, 7.5h, 8.5h; when the surface drying temperature is 55 °C, when the radiation distance is 200 mm, 250 mm, 300 mm, the drying time is 8.5h, 9.5h, 11h respectively. With the change of radiation distance, the degree of change of drying time is lower than the degree of change of drying temperature.

It can be concluded that radiation distance has a certain influence on the drying time of hake fish but is lower than the degree of influence of drying temperature. When selecting the radiation distance, it should be as close as possible to meet the drying requirements.

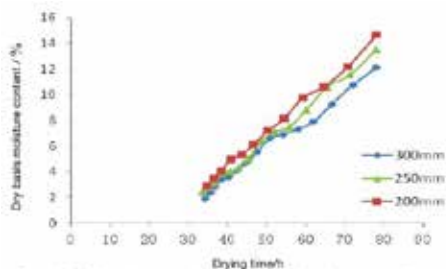


Figure 7 Drying rate curve under different radiation distance conditions at 55°C surface drying temperature

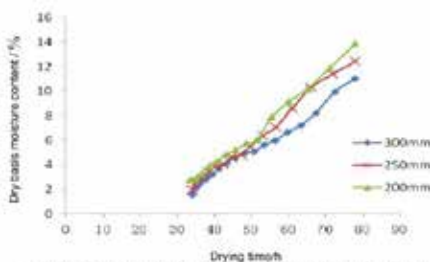


Figure 8 Drying rate curve under different radiation distance conditions at 60°C surface drying temperature

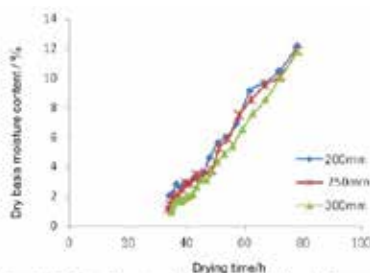


Figure 9 Drying rate curve under different radiation distance conditions at 55°C surface drying temperature

From Figures 7, 8, and 9, we can see that as the radiation distance increases, the drying rate decreases. The radiation distance is 200 mm and the drying rate of 250 mm is not too different. When the radiation distance is 300 mm, the drying rate during the whole process of hake drying is significantly lower than 200 mm and 250 mm. This is because the longer the radiation distance, the less concentrated the radiation and the slower the drying speed. By observing the dried hake fish, the farther the radiation distance, the better the sensory quality of hake fish's color and taste. Therefore, the smaller the radiation distance, the better under the premise of ensuring the drying quality.

According to the national standard, the sensory index adopts a hundred-point system, and the scoring items are assigned as follows: 65 points for smell, 15 points for organizational status, 10 points for cooking, color 5 points, packing 5 points.

According to the sensory scoring table [29], the criteria for determining various index factors (x) are shown in table 2.

In this paper, matrix multiplication is used to calculate the comprehensive score, which avoids the error caused by the algorithm of taking the big and taking the small [30]. Let $u = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$, constitute the factor set vector, and determine the weight

distribution according to the national standard of score distribution (the weight distribution table factor set of the factors) is as follows: $F=\{0.65, 0.15, 0.10, 0.05, 0.05\}$

Table 2

Nongtangbao Grade Factor Standard

Item	Poor product (x_1)	General product (x_2)	Quality product (x_3)	Premium products (x_4)
Taste and smell (y_1)	45, 50	50, 57	57, 63	63, 65
Organization status (y_2)	5, 8	8, 11	11, 14	14, 15
Cookability (y_3)	0, 2	2, 6	6, 9	9, 10
Color (y_4)	0, 2	2, 3	3, 4	4, 5
Package (y_5)	0, 2	2, 3	3, 4	4, 5

Now the evaluation results are classified into four situations to form an evaluation set: $E=\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$.

Once again, it is necessary to formulate a suitable converter for each factor, that is, the correlation fuzzy matrix R between the factor set and the evaluation set. For this reason, first establish the membership function $b_{ij}(X)$ ($i=1, 2, 3, 4, 5, j=1, 2, 3, 4$) are as follows:

$$b_{11}(X) = \begin{cases} 1 & (45 \leq x < 50) \\ \frac{1}{15}(65-X) & (50 \leq X < 65) \end{cases}$$

$$b_{12}(X) = \begin{cases} \frac{1}{5}(X-45) & (45 \leq X < 50) \\ 1 & (50 \leq X < 57) \\ \frac{1}{8}(65-X) & (57 \leq X < 65) \end{cases}$$

$$b_{13}(X) = \begin{cases} \frac{1}{12}(X-45) & (45 \leq X < 57) \\ 1 & (57 \leq X < 63) \\ \frac{1}{2}(65-X) & (63 \leq X < 65) \end{cases}$$

... ..

$$b_{54}(X) = \begin{cases} \frac{1}{4}X & (45 \leq x < 50) \\ 1 & (50 \leq X < 65) \end{cases}$$

According to the measurement, the scores of the samples currently in use of the thick soup recipe are as follows:

$$y_1=58, y_2=13, y_3=9, y_4=2.5, y_5=4.5, \text{ so:}$$

$$b_{11}(58)=0.467, b_{12}(58)=0.875 \dots b_{54}(4.5)=1$$

From this, R can be obtained:

$$R = \begin{pmatrix} 0.467 & 0.875 & 1 & 0.722 \\ 0.286 & 0.5 & 1 & 0.889 \\ 0.125 & 0.25 & 1 & 1 \\ 0.833 & 1 & 0.833 & 0.625 \\ 0.167 & 0.25 & 0.5 & 1 \end{pmatrix}$$

So the evaluation set $X=F \times R$

$$= \{0.65, 0.15, 0.10, 0.05, 0.05\} \times \begin{Bmatrix} 0.467 & 0.875 & 1 & 0.722 \\ 0.286 & 0.5 & 1 & 0.889 \\ 0.125 & 0.25 & 1 & 1 \\ 0.833 & 1 & 0.833 & 0.625 \\ 0.167 & 0.25 & 0.5 & 1 \end{Bmatrix}$$

Still use ordinary addition and multiplication to get: $X=\{0.409, 0.731, 0.967, 0.784\}$

Take $x_{j0}=\max e_j$ ($1 \leq j \leq 4$), and the evaluation object is x_{j0} . That is, it belongs to the j th product in the standard. Here $x_3=0.967$ is the largest, so the sample of the pumped thick soup treasure is a high-quality product.

Conclusions

As the distance from the heat source increases, the color and taste of the hake improves, the sensory qualities become better, but the drying time increases. In order to save business and time costs, this must be consistent with the prerequisite for ensuring the quality of drying. After grinding the hake into flour, a thick soup is prepared. Based on the results of calculations and sensory evaluation, the optimal ratio of materials in the food concentrate was found: 20 g of hake fish powder, 3 g of salt, 0.7 g of sodium glutamate, 0.5 g of ginger powder, 4 g of white sugar, 0.5 g of konjac gum, 0.9 g xanthan gum, 0.6 g guar gum.

The nutritional value of hake is extremely rich. Hake fish is rich in protein, vitamin A, vitamin D, calcium, magnesium, selenium and other nutritional elements. It is rich in nutrition and has a sweet meat taste, fish meat is rich in magnesium, which has a good protective effect on the cardiovascular system and is beneficial to prevention Cardiovascular diseases such as hypertension and myocardial infarction. Making the hake fish as a hake fish soup can be convenient for storage and transportation.

BIBLIOGRAPHY:

1. Fao. The state of world fisheries and aquaculture 2016-production [J]. FarmBiz. 2018, 4 (1): 32–33.
2. Drinkwater, Kenneth F. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change [J]. ICES J. Mar. Sci., 2005, 62 (7): 1327–1337.
3. A. Y. Frommel, R. Maneja, D. Lowe, A. M. Malzahn, A. J. Geffen, A. Folkvord, et al. Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification [J]. Nat. Clim. Change. 2012, 2 (1): 42–46.
4. M. H. Stiasny, F. H. Mittermayer, M. Sswat, R. Voss, F. Jutfelt, M. Chierici, et al. ocean acidification effects on atlantic cod larval survival and recruitment to the fished population [J]. PLoS One. 2016, 11 (8): e0155448.
5. R. Voss, M. F. Quaas, J. O. Schmidt, U. Kapaun. Ocean acidification may aggravate social-ecological trade-offs in coastal fisheries. PLoS One. 2015, 10 (3): e0120376.
6. ICES. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group [R]. Baltic: Tech. Rep International Council for the Exploration of the Sea, 2017.
7. Cook, R. M. Stock collapse or stock recovery? Contrasting perceptions of a depleted cod stock [J]. ICES Journal of Marine Science. 2019, 76(4): 787–793.
8. Sonvisen, Signe A., Standal, Dag. Catch-based aquaculture in Norway–Institutional challenges in the development of a new marine industry [J]. MARINE POLICY. 2019, 104: 118–124.
9. Liu O. R., Molina R., Wilson M., Halpern B. S. Global opportunities for mariculture development to promote human nutrition [J]. PeerJ. 2018, 6: e4733.
10. S. J. Helyar, H. A. D. Lloyd, M. de Bruyn, J. Leake N. Bennett, G. R. Carvalho. Fish product mislabelling: failings of traceability in the production chain and implications for illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing [J]. PLoS One. 2019, 9 (6): e98691.

11. D. Miller, A. Jessel, S. Mariani. Seafood mislabelling : comparisons of two western European case studies assist in defining influencing factors, mechanisms and motives [J].
 12. D. D. Miller, S. Mariani. Smoke, mirrors, and mislabeled cod: poor transparency in the European seafood industry [J]. *Front. Ecol. Environ.* 2010, 8 (10): 517–521.
 13. Wang YQ, Zhang M, Mujumdar AS. Trends in processing technologies for dried aquatic products [J]. *Dry Technol*, 2011, 29 (4): 382–394.
 14. Kilic A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91 (1): 173–182.
 15. Anupamg, Kazufumi O, Toshioaki O. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120 (2): 621–631.
 16. Garrido D R, Dobao P M M, Arce L, et al. Ion mobility spectrometry versus classical physico-chemical analysis for assessing the shelf life of extra virgin olive oil according to container type and storage conditions [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2015, 63 (8): 2179–2188.
 17. Feng Y Z, Cai Y, Sun-Waterhouse D, et al. Reducing the Influence of the Thermally Induced Reactions on the Determination of Aroma-Active Compounds in Soy Sauce Using SDE and GC-MS/O [J]. *Food Analytical Methods*, 2017, Vol. 10 (No. 4): 931–942.
 18. Gerhardt N, Birkenmeier M, Schwolow S, et al. Volatile compound fingerprinting by headspace-gas-chromatography ionmobility spectrometry (HS-GC-IMS) as a benchtop alternative to 1H NMR profiling for assessment of the authenticity of honey [J]. *Analytical Chemistry*, 2018, 90 (3): 1777–1785.
 19. Qiu XJ, Chen SJ, Lin H. Oxidative stability of dried seafood products during processing and storage: A review [J]. *J Aquat Food Prod Technol*, 2019, 28 (3): 329–340.
 20. Li DY, Zhou DY, Yin FW, et al. Impact of different drying processes on the lipid deterioration and color characteristics of *Penaeus vannamei* [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100 (6): 2544–2553.
 21. Frank D, Poole S, Kirchhoff S. Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild barramundi (*Lates calcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2009, 57(21): 10302–10312.
 22. Hamzeh S, Motamedzadegan A, Shahidi SA, et al. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder [J]. *J Aquat Food Prod T*, 2019, 28 (7): 794–805.
 23. Finite time analysis of endoreversible combined cycle based on the stefan-boltzmann heat transfer law [J]. *Journal of Chemical, Environmental and Biological Engineering*, 2020, 4 (1): 25–31.
 24. Zahra Mohammadi, Mahdi Kashaninejad, Aman Mohammad Ziaifar, et al. Peeling of kiwifruit using infrared heating technology: A feasibility and optimization study [J]. *LWT*, 2018, 99: 128–137.
 25. Fakhreddin Salehi, et al. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2019, 20 (3): 586–602.
 26. Saengrayap R, Tansarul A, Mittal G S, et al. Effect of farinfrared radiation assisted microwave -vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52 (5): 2 610–2 621.
 27. Salam A. Aboud, Ammar B. Altemimi, Asaad R. S. Al-Hiiphy, et al. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing [J]. *Molecules*, 2019, 24 (22): 1–21.
-

28. Zhao C J, Schieber A, Gaenzle M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review [J]. *Food Research International*, 2016, 89 (1): 39–47.

29. Park J N, Watanabe T, Endoh K I, et al. Taste active components in a Vietnamese fish sauce [J]. *Fisheries Science*, 2002, 68 (4): 913–920.

30. Vèronique, Habauzit, Christine, et al. Evidence for a protective effect of polyphenols containing foods on cardiovascular health: an update for clinicians [J]. *Therapeutic advances in chronic disease*, 2017, 3 (2): 87–106.

REFERENCES:

1. Fao. The state of world fisheries and aquaculture 2016-production [J]. *FarmBiz*, 2018, 4 (1): 32–33.

2. Drinkwater, Kenneth F. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change [J]. *ICES J. Mar. Sci.*, 2005, 62 (7): 1327–1337.

3. A. Y. Frommel, R. Maneja, D. Lowe, A. M. Malzahn, A. J. Geffen, A. Folkvord, et al. Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification [J]. *Nat. Clim. Change*. 2012, 2 (1): 42–46.

4. M. H. Stiasny, F. H. Mittermayer, M. Sswat, R. Voss, F. Jutfelt, M. Chierici, et al. ocean acidification effects on atlantic cod larval survival and recruitment to the fished population [J]. *PLoS One*. 2016, 11 (8): e0155448.

5. R. Voss, M. F. Quaas, J. O. Schmidt, U. Kapaun. Ocean acidification may aggravate social-ecological trade-offs in coastal fisheries. *PLoS One*. 2015, 10 (3): e0120376.

6. ICES. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group [R]. Baltic:Tech. Rep International Council for the Exploration of the Sea, 2017.

7. Cook, R. M. Stock collapse or stock recovery? Contrasting perceptions of a depleted cod stock [J]. *ICES Journal of Marine Science*. 2019, 76 (4): 787–793.

8. Sonvisen, Signe A., Standal, Dag. Catch-based aquaculture in Norway–Institutional challenges in the development of a new marine industry [J]. *MARINE POLICY*. 2019, 104: 118–124.

9. Liu O. R., Molina R., Wilson M., Halpern B. S. Global opportunities for mariculture development to promote human nutrition [J]. *Peerj*. 2018, 6: e4733.

10. S. J. Helyar, H. A. D. Lloyd, M. de Bruyn, J. Leake N. Bennett, G. R. Carvalho. Fish product mislabelling: failings of traceability in the production chain and implications for illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing [J]. *PLoS One*. 2019, 9 (6): e98691.

11. D. Miller, A. Jessel, S. Mariani. Seafood mislabelling : comparisons of two western European case studies assist in defining influencing factors, mechanisms and motives [J].

12. D. D. Miller, S. Mariani. Smoke, mirrors, and mislabeled cod: poor transparency in the European seafood industry [J]. *Front. Ecol. Environ*. 2010, 8 (10): 517–521.

13. Wang YQ, Zhang M, Mujumdar AS. Trends in processing technologies for dried aquatic products [J]. *Dry Technol*, 2011, 29 (4): 382–394.

14. Kilic A. Low temperature and high velocity (LTHV) application in drying: Characteristics and effects on the fish quality [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91 (1): 173–182.

15. Anupamg, Kazufumi O, Toshioaki O. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120 (2): 621–631.

16. Garrido D R, Dobao P M M, Arce L, et al. Ion mobility spectrometry versus classical physico-chemical analysis for assessing the shelf life of extra virgin olive oil according to container type and storage conditions [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2015, 63 (8): 2179–2188.

17. Feng Y Z, Cai Y, Sun-Waterhouse D, et al. Reducing the Influence of the Thermally Induced Reactions on the Determination of Aroma-Active Compounds in

Soy Sauce Using SDE and GC-MS/O [J]. *Food Analytical Methods*, 2017, Vol. 10 (No. 4): 931–942.

18. Gerhardt N, Birkenmeier M, Schwolow S, et al. Volatile compound fingerprinting by headspace-gas-chromatography ionmobility spectrometry (HS-GC-IMS) as a benchtop alternative to ¹H NMR profiling for assessment of the authenticity of honey [J]. *Analytical Chemistry*, 2018, 90 (3): 1777–1785.

19. Qiu XJ, Chen SJ, Lin H. Oxidative stability of dried seafood products during processing and storage: A review [J]. *J Aquat Food Prod Technol*, 2019, 28 (3): 329–340.

20. Li DY, Zhou DY, Yin FW, et al. Impact of different drying processes on the lipid deterioration and color characteristics of *Penaeus vannamei* [J]. *J Sci Food Agric*, 2020, 100 (6): 2544–2553.

21. Frank D, Poole S, Kirchhoff S. Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild barramundi (*Lates calcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2009, 57 (21): 10302–10312.

22. Hamzeh S, Motamedzadegan A, Shahidi SA, et al. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder [J]. *J Aquat Food Prod T*, 2019, 28 (7): 794–805.

23. Finite time analysis of endoreversible combined cycle based on the stefan-boltzmann heat transfer law [J]. *Journal of Chemical, Environmental and Biological Engineering*, 2020, 4 (1): 25–31.

24. Zahra Mohammadi, Mahdi Kashaninejad, Aman Mohammad Ziaifar, et al. Peeling of kiwifruit using infrared heating technology: A feasibility and optimization study [J]. *LWT*, 2018, 99: 128–137.

25. Fakhreddin Salehi, et al. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2019, 20 (3): 586–602.

26. Saengrayap R, Tansarul A, Mittal G S, et al. Effect of farinfrared radiation assisted microwave -vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52 (5): 2 610–2 621.

27. Salam A. Aboud, Ammar B. Altemimi, Asaad R. S. Al-Hiiphy, et al. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing [J]. *Molecules*, 2019, 24 (22): 1–21.

28. Zhao C J, Schieber A, Gaenzle M G. Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review [J]. *Food Research International*, 2016, 89 (1): 39–47.

29. Park J N, Watanabe T, Endoh K I, et al. Taste active components in a Vietnamese fish sauce [J]. *Fisheries Science*, 2002, 68 (4): 913–920.

30. Vèronique, Habauzit, Christine, et al. Evidence for a protective effect of polyphenols containing foods on cardiovascular health: an update for clinicians [J]. *Therapeutic advances in chronic disease*, 2017, 3 (2): 87–106.

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 504*33[327:627.12]

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.12>

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВОДНИХ ТА ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ БАСЕЙНУ РІЧКИ ЦИР

Кузьмич А.А. – студентка магістратури

Ягеллонського Університету

ORCID ID: 0000-0002-5982-8983

Волошин М.М. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії

та водних технологій

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0003-0467-1963

Кузьмич Л.В. – доктор технічних наук, доцент,

головний науковий співробітник відділу дренажу

Інституту водних проблем і меліорації НААН

ORCID ID: 0000-0003-0727-0508

Проведено аналіз сучасного стану водних та земельних ресурсів басейну річки Цир (зона Полісся, Волинська область, Камінь-Каширський район) з метою виявлення основних проблем їх раціонального використання та охорони в умовах зміни клімату.

На основі проведеного гідрологічного, геологічного та гідрогеологічного аналізу сформовано сучасні гідрографічні характеристики річки Цир. Аналіз даних показує, що на території басейну річки Цир розвинені процеси заболочення та підтоплення заплави річки, а також карстоутворення і розвіювання пісків еолових гряд і дюн. Майже всюди схили долини є слабо розчленованими, здебільшого відкритими, розораними, місцями залісненими. Переважають піщані або суглинисті ґрунти, рідше – супіщані або глинисто-піщані.

Встановлено, що в межах басейну річки Цир розвинені процеси заболочення та підтоплення заплави річки. Деградація ґрунтів проявляється у вигляді вітрової ерозії та карстоутворення.

Аналіз технічного стану Цирської осушувальної системи, магістральним каналом якої є річка Цир, вказує на те, що через незадовільний стан русла (заростання та замулення) річки Цир система не спроможна належним чином виконувати своє функціональне призначення – відведення дренажного стоку та сезонне водорегулювання. Крім того, відсутність експлуатаційних заходів на внутрішньогосподарській мережі Цирської осушувальної системи призвела до неможливості ефективного використання сільськогосподарських угідь через затоплення понижених ділянок рельєфу.

Як заходи щодо раціонального використання та охорони водних і земельних ресурсів басейну річки Цир пропонуються організація і проведення експлуатаційних заходів, зокрема на внутрігосподарській мережі, а також відновлення водорегулюючої функції дренажної системи шляхом реконструкції та будівництва нової інженерної інфраструктури меліоративної системи, що забезпечить двостороннє регулювання дренажного стоку в умовах зміни клімату.

Ключові слова: річка, басейн, водні ресурси, меліоровані землі, технічний стан, осушення, дренажна система.

Kuzmych A.A., Voloshin M.M., Kuzmych L.V. Analysis of the current condition of water and land resources of the Tsyrr River Basin

The analysis of the current state of water and land resources of the Tsyrr river basin (Polissya zone, Volyn region, Kamin-Kashirsky district) is carried out in the conditions of climate change.

On the basis of the conducted hydrological, geological, and hydrogeological analysis the modern hydrographic characteristics of the river Tsyrr are formed. The analysis of the data shows that in the territory of the Tsyrr river basin order to identify the main problems of their rational use and protective processes of waterlogging and flooding of the river floodplain, as well as karst formation and dispersal of sands of aeolian ridges and dunes are developed. Almost everywhere the slopes of the valley are poorly dissected, mostly open, plowed, forested. Sandy or loamy soils predominate, less often sandy or clayey-sandy soils.

It is established that within the basin of the river Tsyrr the processes of waterlogging and flooding of the river floodplain are developed. Soil degradation manifests itself in the form of wind erosion and karst formation.

Analysis of the technical condition of the Tsyrr drainage system, the main channel of which is the Tsyrr River, indicates that due to the unsatisfactory condition of the riverbed (overgrowing and siltation), the Tsyrr River is not able to properly fulfill its functional purpose – drainage and seasonal water regulation. In addition, the lack of operational measures on the in-farm network of the Tsyrrsky drainage system has led to the impossibility of efficient use of agricultural land due to flooding of low-lying areas.

As measures for the rational use and protection of water and land resources of the Tsyrr river basin, it is proposed to organize and carry out operational measures, in particular on the domestic network, as well as to restore the water regulation function of the drainage system by reconstructing and building new reclamation engineering infrastructure. in the context of climate change.

Key words: river, basin, water resources, reclaimed lands, technical condition, drainage, drainage system.

Постановка проблеми. У відповідності до Указу Президента України № 357/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 липня 2021 року «Про стан водних ресурсів України» [1] головним напрямом реалізації політики подальшого розвитку водогосподарського комплексу країни є розроблення концепції державної цільової наукової програми управління водними ресурсами, зокрема: проведення наукових досліджень сучасного екологічного стану річкових басейнів в умовах зміни клімату з метою мінімізації можливих загроз та ризиків у сфері забезпечення водної безпеки, розроблення наукових основ екологічного оздоровлення та невиснажного використання водних ресурсів України, розвитку водного господарства.

Сучасний рівень розвитку водного господарства висуває на передній план комплекс питань, пов'язаних із викликами та загрозами національній безпеці України у сфері забезпечення водної безпеки держави, беручи до уваги високий рівень ризиків для водних об'єктів, зумовлений значним забрудненням та виснаженістю, недостатністю адаптаційних можливостей водогосподарської галузі до негативних процесів зміни клімату, незадовільний технічний стан, зношеність та недостатню розгалуженість систем централізованого водопостачання та водовідведення, застарілість технологій водопідготовки для забезпечення населення України якісною питною водою тощо [2, с. 6–15; 3, с. 31–35; 4, с. 36–39; 5, с. 80–82;

6, с. 72–75]. Стан водних ресурсів та водозабезпечення населення і агропромислового комплексу України в умовах зміни клімату перетворюється на одну з головних і актуальних загроз національній безпеці нашої держави, що постійно загострюється. Ця гострота зумовлена тим, що Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи [7, с. 228–230; 8, с. 111–115].

Тому аналіз сучасного стану водних та земельних ресурсів у басейнах рік з подальшим розробленням заходів щодо раціонального використання та охорони водних ресурсів, спрямованих на зменшення забруднення поверхневих, підземних вод та покращення водного середовища, продовжує залишатися однією з найактуальніших проблем. Об'єкти водогосподарсько-меліоративного фонду зони Полісся не є виключенням, оскільки осушувані землі є важливим чинником ведення сталого агровиробництва, від ефективності використання яких у значній мірі залежить економічна, екологічна та соціальна стабільність регіону загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Річка Цир є правою притокою р. Прип'ять (Рис. 1).

Басейн р. Цир межує на півдні й заході з басейном р. Турія, а на сході – з басейном р. Коростинка. Площа водозбору – 472 км², довжина – 52 км, середній похил русла – 0,4°. Швидкість течії води в річці – від 0,1–0,2 до 0,5 м/с [8, с. 111–115].

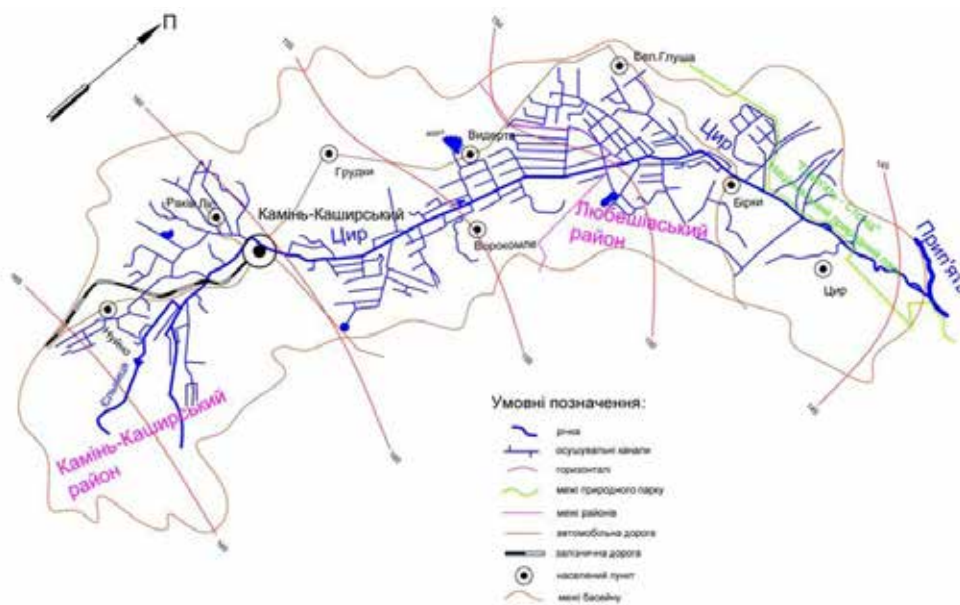


Рис. 1. Карта-схема басейну р. Цир

Рельєф басейну – рівнинний, з абсолютними відмітками поверхні 142,3 – 193,6 метри над рівнем моря, має незначний похил поверхні з півдня на північний схід. Величина похилу поверхні зумовлює швидкість течії води в річці, а також швидкість стікання повеневих та паводкових вод [8, с. 111–115; 9, с. 175–177].

В основі басейну р. Цир залягають докембрійські кристалічні породи. Вони покриті зазвичай тріщинуватими й сланцеватими глинами, на яких залягають

крейдові відкладення у вигляді піску, мергелю, вапняку. Крейдова товща у верхній і середній частинах басейну покрита неогеновими породами.

Ліси займають близько 17% площі басейну р. Цир (86 км²), переважають широколисті дубові та мішані, зокрема дуб і сосна. Заболочені землі з лучно-болотною рослинністю займають 56 км² (11%) і розташовані переважно у верхній частині басейну. У наявності є також близько 5-ти озер, які займають загальну площу 2 км² (0,4%) [9, с. 175–177].

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз сучасного стану водних та земельних ресурсів басейну р. Цир з метою виявлення основних проблем їх раціонального використання та охорони.

Виклад основного матеріалу дослідження. У гідрогеологічному відношенні басейн річки Цир розташований у західній частині Волинсько-Подільського артезіанського басейну Західно-Європейської гідрогеологічної області. Даний район відноситься до зони інтенсивного та достатнього зволоження.

Місцевим водоупором є зона кольматації верхньокрейдяних відкладень. Регіональний водоупір представлений монолітною мергельно-крейдяною товщею верхньокрейдяних відкладень. Водопроникні, але безводні відкладення представлені сучасно-верхньочетвертинними еоловими пісками.

Майже всюди схили долини слабо розчленовані, здебільшого відкриті, розорані, місцями заліснені, переважно піщані або суглинисті, рідше – супіщані або глинисто-піщані.

Заплава річки – двостороння, у верхній і середній течії шириною 0,7–1,0 км, місцями розширюється до 3–4,5 км або звужується до 0,3–0,4 км, у верхів'ї місцями відсутня. У нижній течії переважна ширина заплави – 2–4 км. У багатьох місцях вона нечітко виражена – води річки зливаються з талими водами на прилеглих болотах. У гирловій частині заплава зливається із заплавою р. Прип'ять.

Основні гідрографічні характеристики р. Цир наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні гідрографічні характеристики р. Цир

Найменування характеристик	Одиниці виміру	Основна річка	Притоки довжиною більше 10 км
			Єльниця
1	2	3	4
Куди впадає		Прип'ять	Цир
Права чи ліва притока		Права	Ліва
Довжина	км	58	12,5
Відмітки: витоку гирла	м.абс.	185,00	190,00
	м.абс.	141,80	156,50
Падіння	м	43,2	33,5
Похил: середній середньозважений	м/км	0,74	2,68
	м/км	0,40	2,40
Площа водозбору	км ²	587	55,3
Середня висота водозбору	м.абс.	160,4	172,0
Середній похил водозбору	м/км	2,73	8,00
Лісистість	%	37,5	47,0
Заболоченість	%	10,2	0

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
Розораність	%	17,0	10,1
Еродованість	%	0	0
Урбанізованість	%	6,0	4,5
Осушених земель з постійною водопровідною мережею	тис. га	15,75	0,64
Кількість притоків:			
Довжиною більше 10 км	шт.	1	0
Довжиною 10 км і менше	шт.	40	2
Довжина річкової мережі:			
з урахуванням $l > 10$ км	км	70,5	12,5
з урахуванням $l < 10$ км	км	445	38,0
Коефіцієнт густоти річкової мережі:			
з урахуванням $l > 10$ км	км/км ²	0,12	0,23
з урахуванням $l \leq 10$ км	км/км ²	0,76	0,69
Звивистість		1,36	1,22

Річка Цир використовується як водоприймач Цирської осушувальної системи, що знаходиться на першій надзаплавній терасі р. Прип'яті. Цирська осушувальна система площею 15 418 га була побудована в 1960–1972 рр. Землі використовуються переважно під пасовища та сінокоси [9, с. 175–179].

Магістральним каналом Цирської осушувальної системи є випрямлене русло р. Цир. Глибина його запроектована з урахуванням на підтоплення бокових каналів. Відкоси магістрального каналу слабкозадерновані, дно замулюється внаслідок слабкої течії і заростає водоростями. За незначного похилу (0,0002) магістральний канал під час весняної повені не забезпечує своєчасного скиду повеневих вод, і частина прилеглої території підтоплюється. Система бокових каналів призначена для відведення надлишкової води з осушених територій упродовж усього вегетаційного періоду, а також для зволоження земель у посушливий період шляхом заповнення їх водою. Води р. Прип'ять під час повені підгачують р. Цир, тому виникла необхідність одамбувати осушений масив.

Сучасну характеристику русла р. Цир наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Сучасна характеристика русла р. Цир

Характеристика	Одиниці виміру	Ділянка річки	Основна річка	Притоки довжиною більше 10 км
				р. Єльниця
1	2	3	4	5
Тип русла		58-0	Випрямлене, в руслі – закручене	Випрямлене у верхів'ї – закручене
Ширина	м	58-32 32-0	9-12 12-60	1-9

Закінчення табл. 2

1		2	3	4	5
Глибина: на плесах на перекатах		м	58-32 32-0	1,3-3,3 1,5-3,0	0,5-1,0
		м	58-32 32-0	0,7-3,0 1,0-2,5	0,3-0,8
Швидкість течії: а) на плесах в межах в багатоводні періоди б) на перекатах в межах в багатоводні періоди		м/с	58-0	до 0,1	до 0,1
		м/с	58-0	0,1-0,2	0,1-0,2
		м/с	58-0	0,2	од
		м/с	58-0	0,2-0,3	0,1-0,2
Замулення русла		м	58-32 32-0	0,2-0,3 0,2-0,5	0,2-0,3
Заростання русла		%	58-0	85	83
Відносна довжина ділянок русла: випрямлених обвалованих які перебувають в підпорі		%	58-32 32-0	100 83	35
		%	58-32 32-0	18 63	
		%	58-0	0	1,5
Відносна протяжність різних угідь в межах прибережної смуги: Рілля Сінокіс Пасовища присадибні ділянки		%	58-32 32-0	22,0 18,7	
		%	58-32 32-0	21,3 21,0	54,2
		%	58-32 32-0	17,4 18,5	32,8
		%	58-32 32-0	0	
ліси і чагарники		%	58-32 32-0	3,2 2,8	2,5
болота		%	58-32 32-0	16,1 17,0	0,4
інші угіддя		%	58-32 32-0	20,0 23,0	10,0
Сучасні	Вид			замулення	
процеси	Ступінь прояву		58-0	від слабкого до дуже сильного	від слабкого до сильного

Як видно з даних таблиці 2, існує проблема експлуатаційного характеру, а саме замулення і заростання русла р. Цир, що призводить до погіршення виконання функцій, покладених на русло річки як на магістральний канал Цирської осушувальної системи. Дана ситуація призводить до розвитку процесів заболочення та підтоплення заплави річки.

Крім того, відсутність експлуатаційних заходів на внутрішньогосподарській мережі Цирської осушувальної системи призвела до того, що натеper ґрунти системи не можна ефективно використати в сільському господарстві, оскільки

в понижених елементах рельєфу спостерігається вимокання сільськогосподарських культур і посівних трав.

Висновки та пропозиції. Аналіз даних, що характеризують схили долини, заплаву і русло річки Цир, показує, що в сучасних умовах на території басейну р. Цир розвинені процеси заболочення та підтоплення заплави річки, а також карстоутворення і розвіювання пісків еолових гряд і дюн.

Осушення земель у заплаві річки Цир у деякій мірі знижує розвиток процесів заболочення, обвалування русла р. Цир – підтоплення заплави в період повеней. Однак незадовільний технічний стан русла (заростання та замулення), що виконує роль магістрального каналу Цирської осушувальної системи, не дозволяє належним чином виконувати своє функціональне призначення – відведення дренажного стоку та сезонне водорегулювання.

Неналежна експлуатація русла р. Цир як магістрального каналу та відсутність експлуатаційних заходів на внутрішньогосподарській мережі Цирської осушувальної системи призвела до того, що натеper ґрунти системи не можна ефективно використовувати в сільському господарстві, оскільки в понижених елементах рельєфу спостерігається вимокання сільськогосподарських культур і посівних трав.

Для використання меліорованого масиву басейну р. Цир у сільському господарстві потрібно здійснити такі види робіт:

- відновлення водорегулюючої функції дренажної системи шляхом реконструкції та будівництва нової інженерної інфраструктури меліоративної системи, що забезпечить двостороннє регулювання дренажного стоку в умовах зміни клімату;
- нарізання кротового дренажу на торфових ґрунтах сільськогосподарського призначення для вчасного відведення дренажного стоку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Указ Президента України № 357/2021 від 13 серпня 2021 року «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 липня 2021 року «Про стан водних ресурсів України». URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3572021-39661>
2. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство* / М.І. Ромащенко та ін. 2020. № 1. С. 5–22.
3. Воропай Г.В., Яцик М.В., Мозоль Н.В. Сучасний стан та перспективи розвитку осушувальних меліорацій в умовах змін клімату. *Меліорація і водне господарство*. 2019. № 2. С. 31–39.
4. Кузьмич Л.В., Карашук М.М., Кузьмич А.А. Сучасний технічний стан меліоративного фонду Маневицького району Волинської області. *Вісник НУВГП: збірник наукових праць*. 2016. випуск 2 (64). С. 34–40.
5. The system optimization of technical, technological and construction parameters of polder systems. *Automation 2020, AISC* / A. Rokochinskiy et al. 1140. P. 78–86. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40971-5_8
6. Аналіз водозабезпеченості меліорованих земель в межах осушувальної системи «Мар'янівка» Рівненської області. *Вісник аграрної науки* / Л.В. Кузьмич та ін. 2021. № 3. С. 70–77.
7. Кузьмич Л.В., Кузьмич С.А. Оценка ресурса сложных гидротехнических конструкций. *Collection of the International scientific and practical conference «Water resources management in the context of globalization», dedicated to the 105th anniversary of the birth of Professor L.Y. Tazhibaev*. Almaty : KazNARU, 2021. P. 225–231.

8. Зузук Ф.В., Колошко Л.К., Карпюк З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона : монографія. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.

9. Полянський С. Агроекологічний стан ґрунтового покриву еталонних осушувальних систем у басейні р. Прип'ять. *Наукові записки*. 2015. № 2. С. 173–178.

REFERENCES:

1. Ukaz Prezidenta Ukrainy #357/2021 vid 13 serpni 2021 roku «Pro rishennja Rady nacionaljnoji bezpeky i oborony Ukrainy vid 30 lypnja 2021 roku «Pro stan vodnykh resursiv Ukrainy» [Decree of the President of Ukraine № 357/2021 of August 13, 2021 "On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine, July 30, 2021 "About the condition of water resources of Ukraine"] <https://www.president.gov.ua/documents/3572021-39661> [in Ukrainian].

2. Romashchenko, M.I., Husyev, Yu.V., Shatkovskiy, A.P., Saidak, R.V., Yatsyuk, M.V., Shevchenko, A.M., Matiash, T.V. (2020). Vplyv suchasnykh klimatychnykh zmin na vodni resursy ta sil's'kokhospodars'ke vyrobnytvo [The impact of modern climate change on water resources and agricultural production]. *Melioracija i vodne ghospodarstvo – Land reclamation and water management*. № 1. 5–22 [in Ukrainian].

3. Voropay, G.V., Jacyk, M.V., Mozol, N.V. (2019). Suchasnyj stan ta perspektyvy rozvytku osushuvalnykh melioracij v umovakh zmin klimatu [Current state and prospects of development of drainage reclamation in the conditions of climate change]. *Melioracija i vodne ghospodarstvo – Land reclamation and water management*. № 2. 31–39 [in Ukrainian].

4. Kuzmych, L.V., Karaschuk, M.M., Kuzmych, A.A. (2016). Suchasnyj tekhnichnyj stan melioratyvnogho fondu Manevyc'kogho rajonu Volyns'koji oblasti [The current technical condition of the reclamation fund of Manevychi district of Volyn region]. *Visnyk NUVGhP: zbirnyk naukovykh pracj – Bulletin of NUWEE: a collection of scientific papers*. Issue 2 (64). 34–40 [in Ukrainian].

5. Rokochinskiy, A., Korobiichuk, I., Kuzmych, L., Volk, P. and Kuzmych, A. (2020). The system optimization of technical, technological, and construction parameters of polder systems. *Automation 2020, AISC*. 1140. 78–86. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40971-5_8 [in English].

6. Kuzmych, L.V., Kozytsky, O.M., Usaty, S.V., Mozol, N.V. (2021). Analiz vodozabezpechenosti meliorovanykh zemelj v mezhakh osushuval'noji systemy «Mar'janivka» Rivnens'koji oblasti [Analysis of the water supply of reclaimed lands within the drainage system "Maryanivka" of Rivne region]. *Visnyk aghrarnoji nauky – Bulletin of Agrarian Science*. № 3. 70–77 [in Ukrainian].

7. Kuzmych, L.V., Kuzmych, S.A. (2021). Ocenka resursa slozhnykh ghydrotekhnicheskyykh konstrukcyj [Estimation of the resource of complex hydraulic structures]. *Collection of the International scientific and practical conference "Water resources management in the context of globalization", dedicated to the 105th anniversary of the birth of Professor L.Y. Tazhibaev*. – Almaty: KazNARU. 225–231 [in Russian].

8. Zuzuk, F.V., Koloshko, L.K., Karpyuk, Z.K. (2012). Osusheni zemli Volyns'koji oblasti ta jikh okhorona : monoghrafija [Drained lands of Volyn region and their protection: monograph]. Lutsk: Volyn. nat. Univ. Lesya Ukrainka. 294 p. [in Ukrainian].

9. Polyansky, S. (2015). Aghroekologichnyj stan gruntovogho pokryvu etalonnykh osushuval'nykh system u basejni r. Pryp'jaty [Agroecological condition of the soil cover of the reference drainage systems in the basin of the Prip'yat River]. *Naukovi zapysky – Scientific notes*. № 2. 173–178 [in Ukrainian].

УДК 626.81/84:831.67

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.13>

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗРОШЕННЯ І ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ

Морозов О.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії
та водних технологій

Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5617-0813

Іванів М.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри рослинництва та агроінженерії
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-4793-6194

Морозов В.В. – кандидат сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної інженерії
та водних технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-2594-883X

Козленко Є.В. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант
Інституту зрошуваного землеробства
Національної академії аграрних наук України
ORCID ID: 0000-0002-5617-081

У статті наведені узагальнені матеріали з теоретико-методологічного обґрунтування процесів і методів формування експертних систем, що призначені для оцінки технічної та еколого-меліоративної ефективності закритого горизонтального дренажу на зрошуваних та прилеглих до них землях сухостепової зони України.

Закритий горизонтальний дренаж – складова гідротехнічної системи, яка є радикальним інженерним заходом, що забезпечує багаторічний захист зрошуваних та прилеглих до них земель у слабодренованій і безстічній зонах від підтоплення, вторинного засолення та осолонювання ґрунтів. Аналіз сучасного стану наявних систем горизонтального дренажу свідчить про недостатню увагу до його експлуатації, а ті вибіркові дані про роботу дренажу, що збираються відповідними виробничими управліннями, не мають можливості об'єктивно оцінити його технічну та еколого-меліоративну ефективність.

Стратегія зрошення і дренажу в Україні до 2030 року значною мірою спрямована на вирішення проблеми відтворення, реконструкції і технічної модернізації наявних систем горизонтального дренажу, проєктування, будівництва та ефективну експлуатацію дренажу на нових ділянках. Одним із найбільш актуальних питань є забезпечення ефективної роботи всіх систем закритого горизонтального дренажу, яке можливо реалізувати тільки на базі здійснення моніторингу ефективності дренажу. Сучасною теоретико-методологічною базою такого моніторингу повинні стати експертні системи ефективності горизонтального дренажу.

Для вирішення вищезазначених питань на кожній зрошуваній системі необхідне створення відповідних експертних систем, включно з, перш за все, базами даних і базами знань та комплексом спеціалізованих комп'ютерних програм для моделювання і прогнозування процесів формування еколого-меліоративного режиму ґрунтів і ландшафтів на зрошуваних системах з дренажем.

Запропонований перелік досліджуваних показників для комплексної оцінки ефективності горизонтального дренажу та науково-методологічний підхід для вивчення, аналізу й оцінки ефективності дренажу на дослідно-виробничих ділянках зрошення і дренажу, які є типовими для відповідного зрошуваного масиву та можуть застосовуватися для

постійного контролю ефективності горизонтального дренажу на звичайних виробничих зрошувальних ділянках.

Ключові слова: зрошення, горизонтальний дренаж, експертні системи, технічна та еколого-меліоративна ефективність дренажу.

Morozov O.V., Ivaniv M.O., Morozov V.V., Kozlenko Y.V. Theoretical and methodological bases of formation of expert systems of efficiency of irrigation and horizontal drainage

The article presents generalized materials on the theoretical and methodological substantiation of the processes and methods of formation of expert systems, which are designed to assess the technical and ecological-reclamation efficiency of closed horizontal drainage on irrigated lands of the dry steppe zone of Ukraine.

Closed horizontal drainage is a component of the hydraulic system, which is a radical engineering measure that provides long-term protection of irrigated lands in poorly drained and drainless areas from flooding, secondary salinization and alkalization of soils.

The strategy of irrigation and drainage in Ukraine un to 2030 is mainly aimed at solving the problem of reproduction, reconstruction and technical modernization of existing horizontal drainage systems, design, construction and efficient operation of drainage in new areas. One of the most topical issues of this problem is to ensure the effective operation of all closed horizontal drainage systems, which can be implemented only on the basis of monitoring the effectiveness of drainage. Expert systems of horizontal drainage efficiency should become a modern theoretical and methodological basis for this monitoring.

To solve the above problems on each irrigated system it is necessary to create appropriate expert systems, including primarily databases and knowledge bases and a set of specialized computer programs for modeling and forecasting the formation of ecological-reclamation mode of soils and landscapes on irrigated systems with drainage.

The study offers the list of indexes under study for the complex estimation of efficiency of horizontal drainage and scientific-methodological approach to studying, analyzing and estimating of efficiency on the research-production plots of irrigation and drainage which are typical for the corresponding irrigated area and can be applied to control of the work of drainage on usual industrial production plots.

Key words: irrigation, horizontal drainage, expert systems, technical and ecological-reclamation efficiency of drainage.

Вступ. У реалізації Стратегії зрошення і дренажу в Україні до 2030 року [1] актуальним питанням є забезпечення ефективного функціонування гідромеліоративних систем (далі – ГМС), що включають зрошувальну і дренажну системи, що працюють у взаємодії і разом з природними умовами, в які вони вписані, складають цілісну ландшафтно-меліоративну систему (далі – ЛМС). Основним науково-методологічним інструментарієм постійного меліоративного контролю ефективності функціонування ГМС у сучасних умовах можуть стати відповідні експертні системи (далі – ЕС), які повною мірою будуть використовуватись фахівцями-експертами в процесі експертизи ефективності як проєктів, так і процесу експлуатації систем зрошення і дренажу.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою підвищення ефективності цілісної системи зрошення і дренажу є необхідність відновлення та вдосконалення чинної системи моніторингу ефективності зрошення на тлі закритого горизонтального дренажу на безстічних і слабодренованих землях сухостепової зони України. Нинішня система контролю роботи горизонтального дренажу також не забезпечує об'єктивної оцінки його ефективності. Перспективним напрямом у вирішенні цієї проблеми є розробка і впровадження спеціалізованих експертних систем моніторингу ефективності горизонтального дренажу (у складі системи зрошення-дренаж), для формування яких необхідне теоретико-методологічне обґрунтування.

У статті наведені розробки з науково-методологічного обґрунтування принципів і методів формування експертної системи моніторингу ефективності горизонтального дренажу на зрошуваних ландшафтах.

Враховуючи, що експертні системи створюються на базі наукових досліджень у відповідності галузі, важливу роль перш за все повинні відігравати мета і завдання досліджень, об'єкт і предмет дослідження.

Мета дослідження – розробити науково-методологічні засади формування експертної системи для оцінки ефективності закритого горизонтального дренажу на зрошуваних землях сухостепової зони України.

Основні завдання досліджень:

- проаналізувати сучасний стан оцінки ефективності функціонування горизонтального дренажу і запропонувати шляхи вдосконалення цього процесу у застосуванні експертної системи;

- розробити науково-методичні засади формування експертної системи для оцінки ефективності горизонтального дренажу і підготовки заходів щодо підвищення ефективності дренажу;

- запропонувати перелік показників і критеріїв оцінки ефективності функціонування горизонтального дренажу та шляхів організації моніторингу ефективності горизонтального дренажу.

Об'єкт дослідження – технічна система закритого горизонтального дренажу, що вписана в природно-технічну систему, яку в наших дослідженнях доцільно вважати ландшафтно-меліоративною системою.

Предмет дослідження – показники, за якими оцінюється ефективність горизонтального дренажу: технічний стан дренажної системи, дренажний стік, мінералізація та хімічний склад дренажних вод, рівень ґрунтових вод, еколого-меліоративний стан зрошуваних земель на ділянці, де функціонує горизонтальний дренаж, урожайність сільськогосподарських культур тощо.

Матеріали і методи дослідження. У статті використано узагальнення даних багаторічних наукових пошуків проблемної науково-дослідної лабораторії еколого-меліоративного моніторингу агроєкосистем сухостепової зони імені професора Д.Г. Шапошникова Херсонського державного аграрного університету, матеріали Управління каналів Інгулецької зрошувальної системи, Снігурівської гідрогеолого-меліоративної партії.

Методи досліджень – системний аналіз і системний підхід до вивчення й управління функціонуванням закритого горизонтального дренажу як складної природно-технічної системи [4], методи польових і лабораторних досліджень показників технічної та еколого-меліоративної ефективності горизонтального дренажу, індукції, порівняння, метод непрямих визначень, історичний метод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження ефективності закритого горизонтального дренажу в зоні зрошення висвітлені в публікаціях останніх років Д.П. Савчука, О.І. Харламова, І.В. Котиковича, В.В. Морозова, О.В. Морозова, Є.В. Козленка та інших науковців. [5–9]. У цих роботах головним чином приділяється увага питанням боротьби з негативними інженерно-геологічними явищами, підтопленням зрошуваних земель і населених пунктів, вторинному засоленню та деградації ґрунтів, а також регульованому використанню дренажних вод на звичайних і рисових зрошувальних системах. Особливої уваги заслуговує питання оцінки ефективності роботи горизонтального дренажу на слабодренованих і безстічних землях сухостепової зони України, що поливаються із закритої внутрішньогосподарської зрошувальної мережі.

Питання розробки і впровадження експертних систем для оцінки ефективності горизонтального дренажу, а також відповідних інженерно-меліоративних заходів у сучасних умовах водо- та землекористування залишаються актуальними, але не

вивченими, а для формування і впровадження експертних систем необхідне теоретико-методологічне обґрунтування.

Виклад основного матеріалу досліджень. Багаторічні дослідження роботи закритого горизонтального дренажу, проведені на прикладі Інгулецької зрошувальної системи (далі – ІЗС), показали таке. З урахуванням того, що ІЗС розташована на території двох областей – Миколаївської та Херсонської, контроль роботи дренажу і еколого-меліоративного стану здійснюється двома окремими організаціями Держводагентства України. На території Білозерського району Херсонської області це Басейнове управління водних ресурсів Нижнього Дніпра з відділом на базі колишньої Каховської гідрогеолого-меліоративної експедиції, а на території Вітовського та Жовтневого районів Миколаївської області контроль здійснюють Південно-Бузьке басейнове управління водних ресурсів та Снігурівська гідрогеолого-меліоративна партія.

Під час контролю роботи горизонтального дренажу названі виробничі організації аналізують такі показники: технічний стан колекторно-дренажної системи і дренажних насосних станцій, зокрема обсяги дренажного стоку, мінералізацію і хімічний склад дренажних вод, що здійснюється 2–3 рази на початку і в кінці вегетаційного періоду та іноді влітку. У сертифікованих лабораторіях басейнових управлінь виконуються відповідні хімічні аналізи, результати яких групуються у зведених таблицях за відповідними роками, додаються дані з обсягів дренажного стоку (тис. м³), які визначаються замірами дренажного стоку в колекторно-дренажних колодязях, проведених об'ємним способом 2–3 рази на рік. Ці дані щорічно передаються на зберігання в архіви Басейнових управлінь, які підпорядковані Держводагентству України.

Важливо зазначити, що під час цих робіт не проводиться оцінка ефективності функціонування горизонтального дренажу як на окремих дренажах, ділянках, так і на Інгулецькому зрошуваному масиві загалом.

У рекомендаціях щодо покращення роботи дренажу мова може йти тільки про відновлення роботи дренажних насосних станцій або самовплинного скиду дренажних вод. У цих матеріалах відсутні дані про винос солей дренажними водами, зв'язок роботи горизонтального дренажу з такими показниками еколого-меліоративного стану зрошуваних та прилеглих до них земель, як рівень ґрунтових вод, вторинне засолення ґрунтів, ґрунтотворних порід зони аерації, мінералізацією та хімічним складом ґрунтових вод, основними елементами водного і сольового балансу, урожайністю сільськогосподарських культур.

Аналогічна картина спостерігається у контролі роботи горизонтального дренажу на всіх зрошувальних системах сухостепової зони: Каховській, Краснознам'янській, Північно-Кримській, Явкінській тощо. Водночас слід зазначити, що всі показники ефективності дренажу розглядаються окремо один від одного, контролюються різними організаціями, наводяться в різних звітних документах, не враховують вплив різних режимів зрошення і питомої водоподачі, практично не узагальнюються та повною мірою не використовуються для підвищення ефективності функціонування дренажу.

Таким чином, сучасна система контролю роботи горизонтального дренажу зрошуваних земель нині потребує радикального вдосконалення, що можливо тільки на основі розробки експертних систем «Горизонтальний дренаж: ефективність», які повинні бути сформовані на основі узагальнення результатів досліджень за всі роки роботи дренажу на кожній системі. Для цього також потрібен пошук і розробка відповідного науково-методологічного та методичного обґрунтування.

У сучасному розвитку науки і техніки особливої уваги набувають технічні системи штучного інтелекту (далі – ШІ), що будуються на базі засобів обчислювальної техніки і призначені для сприйняття, обробки та зберігання інформації, а також формування оптимальних рішень з управління відповідними системами у різних ситуаціях їх розвитку. Досвід, накопичений у теоретичних та експлуатаційних дослідженнях систем штучного інтелекту, показує, що такі системи можуть ефективно застосовуватися в різних галузях діяльності людини. Однією з таких галузей є водне господарство, зокрема системи гідротехніки і гідромеліорації, в яких основними об'єктами досліджень є системи зрошення і дренажу.

Як формулюється в Словнику з кібернетики [10, с. 246]: «Розумність, інтелектуальність системи штучного інтелекту, як правило, оцінюється по аналогії з поведінкою фахівця-інженера в подібних ситуаціях. Це визначає включення в дослідження ШІ таких видів діяльності людини, як впізнавання, формування понять, міркування, прийняття оптимальних рішень, прогнозування, адаптація, обчислення тощо. Метою досліджень для побудови системи штучного інтелекту є розробка моделей досліджуваних процесів та їх реалізація в системах ШІ. Дослідження різних видів інтелектуальної діяльності фахівця здійснюється шляхом аналізу і вирішення відповідних інженерно-технічних завдань».

У дослідженнях, спрямованих на підвищення ефективності систем зрошення і дренажу, найбільш доцільним з позиції застосування систем ШІ є підготовка і прийняття оптимальних рішень у різних ситуаціях в процесі управління цими системами [10], зокрема для оптимізації еколого-меліоративного режиму зрошуваних ландшафтів, ґрунтів і ландшафтно-меліоративних систем загалом, побудову систем навчання тощо.

Теоретичні питання створення ШІ включають такі аспекти: створення моделей інтелектуальних систем, засобів опису їх поведінки, функціонування, структури і властивостей, а також методів і засобів їх побудови. Окремий розділ теорії штучного інтелекту складають математичні методи рішення завдань відповідної галузі науки і техніки.

Успіхи в застосуванні штучного інтелекту можуть бути досягнуті за побудови формальних систем і дедуктивних процедур, придатних для автоматизованого планування доцільного у заданій системі умов і факторів формування відповідного об'єкта досліджень.

Одним з інтенсивно розроблюваних засобів ШІ є бази даних, бази знань та методи їх застосування в управлінні складними, зокрема й природно-технічними системами. Останнім часом одержали широкий розвиток експертні системи, які можуть ефективно застосовуватись і в системі еколого-агромеліоративного моніторингу зрошуваних земель.

«Експертною системою (ЕС, з англ. *expert system*) у загальному вигляді називається комп'ютерна система, яка спроможна частково замінити фахівця – експерта у вирішенні стандартної або невивченої проблемної ситуації. Найважливішою частиною експертної системи є бази знань (далі – БЗ) як моделі поведінки експертів у відповідній області знань із застосуванням процедур логічного висновку і прийняття рішень. Іншими словами, БЗ – сукупність факторів і правил логічного висновку в обраній предметній області діяльності людини» [2; 3]. Бази знань ЕС формуються на основі узагальнення науково-технічної літератури, публікацій, бази даних (далі – БД), які одержуються в результаті досліджень відповідних систем, у нашому випадку – горизонтального дренажу.

Первинним призначенням баз даних є зберігання масивів інформації, але вони широко використовуються для збереження спеціалізованих, наприклад, інженерних, економічних, екологічних та інших даних і моделей. Об'єднання великої кількості даних в єдину базу створює умови для формування великої кількості інформації, наприклад, з усіх аспектів функціонування системи горизонтального дренажу в часі та просторі. Головною перевагою БД є швидкість внесення та використання необхідної інформації. Завдяки спеціальним алгоритмам, які використовуються для баз даних, можна оперативно знаходити необхідні дані, доповнювати, моделювати та прогнозувати їх. Також у базі даних існує певний зв'язок інформації: зміна в одному ряду може спричинити зміни в інших рядках – це допомагає працювати з інформацією простіше і швидше [3].

Системи управління базами даних (далі – СУБД) – це прикладні комп'ютерні програми, що призначені для створення, збереження та використання баз даних.

Прикладні комп'ютерні програми повинні забезпечувати формування і постійне накопичування баз даних за всіма показниками ефективності горизонтального дренажу з побудовою графіків динаміки цих показників. Формування баз знань здійснюється на основі узагальнення баз даних з відповідних показників, а також із результатів моделювання і прогнозування таких показників. Особливу увагу необхідно приділяти одержанню залежностей між досліджуваними показниками, наприклад:

- взаємозв'язку дренажного стоку та напору ґрунтових вод у середині міждренної відстані;
- взаємозв'язку дренажного стоку та складових водного балансу, що визначають сумарний прихід води на ділянку дренажу за вегетаційний період та за рік (календарний та гідрологічний);
- взаємозв'язку мінералізації дренажних і ґрунтових вод;
- взаємозв'язку мінералізації і основних складових хімічного стану дренажних, ґрунтових і зрошувальних вод;
- динаміці засолення (загального і токсичного) ґрунтів, ґрунтотворних порід зони аерації, взаємозв'язку засолення з динамікою рівня ґрунтових вод та інфільтраційним живленням ґрунтових вод, що відображає наявність промивного поливного режиму на зрошуваних штучно дренажних землях;
- залежності засолення ґрунтів і ґрунтотворних порід зони аерації від мінералізації та хімічного складу зрошувальної води;
- залежності урожайності сільськогосподарських культур від всіх умов і факторів формування еколого – меліоративного режиму зрошуваних ґрунтів і ландшафтів на зрошуваних дренажних ділянках тощо.

Важливим є такий аспект, як моделі гідрографу дренажного стоку, а також інтегральної кривої дренажного стоку впродовж року.

Визначення вищеназваних та інших залежностей відбувається методами моделювання. На основі визначених моделей прогнозується розвиток досліджуваних показників та ґрунтово-гідрогеологічних процесів. Методами аналізу і синтезу формуються бази знань з ефективності закритого горизонтального дренажу.

Детально всі роботи з формування баз даних і баз знань здійснюються на типових для зрошуваного масиву дослідно-виробничих ділянках (далі – ДВД) зрошення на фоні горизонтального дренажу. На інших виробничих ділянках дренажу здійснюється вибірковий контроль показників ефективності дренажу. Для застосування баз даних і баз знань, одержаних на ДВД, для розробки достовірних звітів з ефективності дренажу на виробничих ділянках розробляються відповідні алгоритми і комп'ютерні програми.

Для визначення ефективності дренажу на виробничих ділянках розробляються і впроваджуються відповідні методи. У таблиці наведений алгоритм одержання даних для комплексної оцінки ефективності горизонтального дренажу за основним показником – дренажним стоком і хімічним складом дренажних вод. Заміри дренажного стоку та хімічні аналізи дренажних вод дають змогу спиратися як на фактичні дані, так і на непрямі та розрахункові показники, які необхідні в оцінці ефективності дренажу.

Таблиця 1

Алгоритм одержання розширених даних для комплексної оцінки ефективності закритого горизонтального дренажу за дренажним стоком і хімічним складом дренажних вод

Вид показників	Вимірювальні показники	Розрахункові та непрямі показники ефективності
1. Дренажний стік.	1.1. Стік з дрен, л/с.	1.1.1. Модуль дренажного стоку, л/с з 1 га.
		1.1.2. Дренажний стік з 1 га ділянки, м ³ /добу, м ³ /місяць, м ³ /за поливний період, м ³ /за неполивний період, м ³ /рік.
	1.2. Рівень ґрунтових вод у середині міждренної відстані.	1.2.1. Напір над дренаю в середині міждренної відстані, м.
		1.2.2. Розрахунковий середній рівень ґрунтових вод на площі між дренами.
2. Мінералізація та хімічний склад дренажних вод	2.1. Мінералізація дренажних вод, г/дм ³ .	2.1.1. Мінералізація ґрунтових вод, г/дм ³ .
		2.2.1. Гідрохімічний склад ґрунтових вод верхньої активної товщі (8-10 м), з якої формується дренажний стік.
	2.2. Гідрохімічний склад дренажних вод (CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ +K ⁺), мг-екв/дм ³ , %-екв/дм ³ , мг/дм ³ .	2.2.1. Сумарний винос солей з дренажним стоком, т/га за рік.
		2.2.2. Винос гіпотетичних солей, т/га за рік
	2.3. рН дренажної води.	Зв'язок з процесом осолонцювання і деградації ґрунтів.

Одним із найважливіших питань оцінки і забезпечення ефективної роботи горизонтального дренажу є визначення критеріїв, які повинні забезпечуватися роботою дренажу у відповідній природно-кліматичній зоні. Такі критерії були визначені на основі багаторічних досліджень функціонування закритого горизонтального дренажу на безстічних і слабо дренажних землях в сухостеповій зоні України (О.В. Морозов, В.В. Морозов, Є.В. Козленко, 2021) [5, с. 64–67] і доповнюються в даній роботі.

До критеріїв ефективності функціонування горизонтального дренажу належать:
– технічний стан колекторно-дренажної мережі та дренажних насосних станцій;

– модуль дренажного стоку (середньорічний, у вегетаційний та у невегетаційний періоди);

– рівень ґрунтових вод в середині міждренної відстані, а також величини напору ґрунтових вод над дреною, яка залежить зокрема і від відстані між дренами;

– швидкість спрацювання рівня ґрунтових вод (далі – РГВ) в середині міждренної відстані після підйому РГВ, пов’язаного з інтенсивним інфільтраційним живленням ґрунтових вод від атмосферних опадів і поливів;

– відношення річного дренажного стоку до водоподачі на ділянку горизонтального дренажу у вегетаційний період;

– відношення річного дренажного стоку до приходу сумарної кількості води на дренажну ділянку впродовж року (тут важливо враховувати як календарні роки, за якими здійснюється моніторинг кліматичних показників, так і гідрологічні роки: з 1 квітня по 31 березня кожного року);

– зміни мінералізації та хімічного складу дренажних вод з урахуванням їх періодичної динаміки та процесів метаморфізму, еволюції, що відбувається в періоди функціонування дренажу 30–50 років і більше;

– зміни мінералізації та хімічного складу ґрунтових вод, особливо в активній зоні (8–10 м від їхньої поверхні, звідки формується дренажний стік та його хімічний склад);

– зміни загальної і токсичної засоленості ґрунту і ґрунтотворних порід у шарах 0–25 см, 25–50 см, 50–75 см, 75–100 см, 100–150 см, 150 см – до РГВ;

– зміни урожайності сільськогосподарських культур в їх тісній кореляції з режимом зрошення, режимом ґрунтових вод, засоленістю ґрунтів і ґрунтотворних порід зони аерації;

– відношення фактичної урожайності до проєктної;

– показник рівня використання меліорованих земель.

Оцінку ефективності закритого горизонтального дренажу на кожній дренажній ділянці зрошувальної системи необхідно планово проводити 2 рази на рік, на початку вегетаційного періоду (III декада березня) та в кінці вегетаційного періоду (II–III декада жовтня), за необхідності проводиться оцінка у вегетаційний період. Накопичення інформації про досліджувані показники ефективності дренажу відбувається у базі даних експертної системи, а розвиток їх динаміки відображається на відповідних графіках.

Особливості оцінювання ефективності функціонування кожної ділянки горизонтального дренажу полягають у такому:

– оцінка здійснюється за кожним показником методом порівняння значень фактичних показників з їх критеріями [5, с. 67] (критерії можуть уточнюватися в процесі функціонування і практичного використання експертної системи);

– обов’язково звертається увага на ті показники, які за попереднього оцінювання мали низьку та незадовільну ефективність; а також необхідно пересвідчитись, що показники, які мали високу та задовільну ефективність, не знизили цей рівень;

– основою методології оцінювання ефективності горизонтального дренажу є системний цілісний підхід, який полягає в систематичному аналізі всіх аспектів впливу дренажу на еколого-меліоративний стан зрошуваних земель; це означає, що судження про рівень відповідальності кожного досліджуваного показника формується, беручи до уваги всю цілісність встановлених фактів з урахуванням їх взаємозв’язку і динаміки;

– варто визначити, наскільки неефективне значення кожного з показників впливає на загальну оцінку ефективності кожної системи горизонтального дренажу,

тобто в процесі функціонування експертної системи визначається вагомість кожного з показників ефективності дренажу;

- експерти, які оцінюють ефективність кожної ділянки (системи) горизонтального дренажу, визначають у певному випадку, як виявлені недоліки за кожним показником окремо та в їхній сукупності впливають на функціонування дренажу в цілому, а також визначають реальні можливості, строки та економічні витрати для покращення ситуації на кожній ділянці і на зрошувальній системі в цілому;

- за кожною оцінкою ефективності функціонування горизонтального дренажу на зрошуваному масиві (мінімум 2 рази на рік) складається відповідний звіт з конкретними висновками і рекомендаціями;

- експертні системи оцінки ефективності горизонтального дренажу доцільно формувати для кожної зрошувальної системи (масиву), а для виконання цієї роботи можуть бути задіяні провідні науково-дослідні інститути, університети або відповідні наукові центри; на кожному етапі створення експертних систем необхідно видання тимчасових науково-методичних рекомендацій щодо формування цих систем, робочих груп експертів та відповідних баз даних і баз знань.

Висновки і пропозиції.

1. У реалізації Стратегії зрошення і дренажу в Україні до 2030 року значна увага приділяється питанням відновлення, реконструкції, модернізації та забезпеченню ефективної роботи дренажу в зоні зрошення, перш за все – горизонтального, як найбільш розповсюдженого і перспективного. Аналіз сучасного стану наявних систем горизонтального дренажу свідчить про недостатню увагу до його експлуатації, а ті вибіркові дані про роботу дренажу, що збираються відповідними виробничими управліннями, не мають можливості об'єктивно оцінити його технічну та еколого-меліоративну ефективність.

2. Для вирішення названих питань на кожній зрошувальній системі необхідне створення відповідних експертних систем ефективності дренажу, включаючи, перш за все, бази даних і бази знань та комплекс спеціалізованих комп'ютерних програм для моделювання і прогнозування процесів формування еколого-меліоративного режиму ґрунтів і ландшафтів на зрошуваних системах з горизонтальним дренажем.

3. Запропонований перелік досліджуваних показників для комплексної оцінки ефективності горизонтального дренажу та науково-методологічний підхід для вивчення, аналізу і оцінки ефективності дренажу на дослідно-виробничих ділянках зрошення і дренажу, які є типовими для відповідного зрошуваного масиву та можуть застосовуватися для постійного контролю ефективності горизонтального дренажу на звичайних виробничих зрошувальних ділянках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 року № 688-р. *База даних «Законодавство України»*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-p#Text>

2. Експертна система. *Вікіпедія – вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Експертна_система

3. Що таке база даних? *Кафедра АПЕПС ТЕФ КПІ ім. І. Сікорського*. URL: <http://apeps.kpi.ua/shco-take-basa-danykh>

4. Морозов В.В. Основи системного аналізу в гідромеліорації : навч. посібник. Херсон : Вид-во ХДУ, 2008. 64 с.

5. Морозов О.В., Морозов В.В., Козленко Є.В. Системний підхід у дослідженнях технічної ефективності закритого горизонтального дренажу. *Таврійський нау-*

ковий вісник. Серія: технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 2. С. 60–69.

6. Харламов О.І. Ефективність систематичного горизонтального дренажу на слабостічних та безстічних територіях зрошуваних масивів. *Вісник аграрної науки*. Київ : «Аграрна наука». 2019. № 1. С. 72–82.

7. Савчук Д.П., Харламов О.І., Котикович І.В. Ефективність закритого горизонтального дренажу на фоні зрошення ДМ «Фрегат». *Меліорація і водне господарство*. 2018. Вип. 1 (107). С. 30–36.

8. Савчук Д.П., Харламов О.І., Котикович І.В. Горизонтальний дренаж на фоні зрошення дощувальною машиною «Фрегат». *Водне господарство України*. 2019. № 1–2. С. 12–18.

9. Козленко Є.В., Морозов О.В., Морозов В.В. Інгулецька зрошувальна система: стан, проблеми та перспективи розвитку : монографія / за ред. О.В. Морозова. Херсон : Айлант, 2020. 204 с.

10. Словарь по кибернетике : Св. 2000 ст. / Под ред. В.С. Михайлевича – 2-е изд. Киев : Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. 751 с.

REFERENCES:

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku [Irrigation and drainage strategy in Ukraine for the period up to 2030]: skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14.08.2019 r. № 688-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-r#Text> [in Ukrainian].

2. Ekspertna systema [Expert system]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Експертна_система [in Ukrainian].

3. Shcho take baza danykh? [What is a database?]. URL: <http://apeps.kpi.ua/shcho-take-baza-danykh> [in Ukrainian].

4. Morozov, V.V. (2008). Osnovy systemnoho analizu v hidromelioratsii: navch. Posibnyk [Fundamentals of systems analysis in land reclamation: textbook. manual]. Kherson : Vyd-vo KhDU [in Ukrainian].

5. Morozov, O.V., Morozov, V.V., & Kozlenko, Ye.V. (2021). Systemnyi pidkhid u doslidzhenniakh tekhnichnoi efektyvnosti zakrytoho horyzontalnoho drenazhu [System approach in researches of technical efficiency of the closed horizontal drainage]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: tekhnichni nauky – Taurian Scientific Bulletin. Series: technical sciences*. 2. 60–69 [in Ukrainian].

6. Kharlamov, O.I. (2019). Efektyvnist systematichnoho horyzontalnoho drenazhu na slabostichnykh ta bezstichnykh terytoriiakh zroshuvanykh masyviv [Efficiency of systematic horizontal drainage in weakly drained and non-drained areas of irrigated massifs]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*. Kyiv: “Ahrarna nauka”, 1, 72–82 [in Ukrainian].

7. Savchuk, D.P., Kharlamov, O.I. & Kotykovych, I.V. (2018). Efektyvnist zakrytoho horyzontalnoho drenazhu na foni zroshennia ДМ “Фрегат” [The efficiency of closed horizontal drainage against the background of irrigation ДМ “Frigate”]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo – Land reclamation and water management*, 1 (107), 30–36 [in Ukrainian].

8. Savchuk, D.P., Kharlamov, O.I. & Kotykovych, I.V. (2019). Horyzontalni drenazh na foni zroshennia doshchuvalnoi mashynoiu “Фрегат” [Horizontal drainage on the background of irrigation sprinkler “Frigate”]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy – Water management of Ukraine*, 1–2, 12–18 [in Ukrainian].

9. Kozlenko, Ye.V., Morozov, O.V., & Morozov, V.V. (2020). Inhuletska zroshuvalna systema: stan, problemy ta perspektyvy rozvytku : monohrafiia [Ingulets irrigation system: state, problems and prospects of development: monograph]. Kherson : Aylant [in Ukrainian].

10. Slovar po kibernetike : Sv. 2000 st. [Dictionary of Cybernetics: St. 2000 Art.] / Pod red. V.S. Mihaylevicha (1989). 2-e izd. KiYiv: Gl. red. USE im. M.P. Bazhaka [in Russian].

УДК 553.612;544.77.022

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.14>

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛИНИСТИХ ПОРІД ПОЛОЗЬКОГО РОДОВИЩА

Фролова Л.А. – доктор технічних наук,

доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ORCID ID: 0000-0001-7970-2264

Шуцький І.С. – аспірант

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ORCID ID: 0000-0001-8161-1265

Природні глинисті мінерали з заданими характеристиками є перспективними матеріалами для вирішення широкого кола актуальних наукових завдань, пов'язаних з розробкою нових композитних матеріалів, каталізаторів і сорбентів в технологіях водоочищення.

Природні шаруваті силікати володіють рядом унікальних властивостей, таких як здатність до іонного обміну, висока катіонно-обмінна ємність, мікро- і нанопорувата структура, наявність поверхневих активних центрів різної природи. Завдяки цим властивостям вони широко використовуються, як високоефективні компоненти для відокремлення сполук різної природи й очищення стічних вод, насичених вуглеводнів, розділення гомогенних сумішей газів і рідин, для знешкодження радіоактивних ізотопів, у фармації і косметології.

Особливістю шаруватих силікатів є здатність до інтеркаляції полярних рідин з розширенням міжшарового простору і подальшим розширюванням на окремі шари. Ця властивість активно використовується, наприклад, при розробці полімер-неорганічних наноконкомпозитів.

У роботі виконані дослідження фазового, елементного складу глинистих порід Полозького родовища за допомогою сучасних методів аналізу – рентгенофазового аналізу, електронної мікроскопії (електронний мікроскоп JSM-6390LV), ІЧ-спектроскопії (Фур'є ІЧ спектрофотометр Spectrum One (Perkin Elmer)), елементного аналізу (спектрометр XSAM-800 Kratos). За допомогою елементного аналізу розраховано брутто формулу глинистого мінералу. ІЧ спектроскопічне дослідження показало, що в тетраедричних і октаедричних позиціях каолініту присутні катіони Mg^{2+} , Fe^{3+} і Ti^{4+} . Аналіз ІЧ-спектрів глинистого мінералу дав змогу встановити наявність ОН-груп в міжшаровому просторі, а також адсорбованих молекул води, які істотно впливають на технологічні властивості глини. Досліджуваний зразок містить переважно каолініт (98%). Рентгенофазовий аналіз підтвердив переважний склад глинистого мінералу – $Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$.

За отриманими результатами аналізу мікроструктури досліджувана глиниста порода є агрегатами каолініту з нерівномірно розподіленими оксидами феруму та титану.

Ключові слова: глина, каолініт, ІЧ спектри, рентгенофазовий аналіз, скануюча мікроскопія.

Frolova L.A., Shunkin I.S. Characteristics of clay rocks of the Polozhsk's deposit

Natural clay minerals with given characteristics are promising materials for solving a range of relevant scientific problems related to the development of new composite materials, catalysts and sorbents in water treatment technologies.

Natural layered silicates have a number of unique properties, such as the ability to ion exchange, high cation exchange capacity, micro- and nanoporous structure, the presence of surface active centers of different nature. Due to these properties, they are widely used as highly effective components for the separation of compounds of various natures and wastewater treatment, saturated hydrocarbons, separation of homogeneous mixtures of gases and liquids, for neutralization of radioactive isotopes, in pharmacy and cosmetology.

A feature of layered silicates is the ability to intercalate polar liquids with the expansion of the interpackage space and subsequent stratification into separate layers. This property is actively used, for example, in the development of polymer-inorganic nanocomposites.

The research of phase, elemental composition of clay rocks of Polozhskoye deposit with the help of modern methods of analysis – X-ray phase analysis, electron microscopy (electron microscope JSM-6390LV), IR spectroscopy (Fourier IR spectrophotometer Spectrum One (Perkin Elmer)), elemental analysis (XSAM-800 Kratos spectrometer). The gross formula of the clay mineral was calculated by elemental analysis. IR spectroscopic study showed that in the tetrahedral and octahedral positions of kaolinite there are cations Mg^{2+} , Fe^{3+} and Ti^{4+} . Analysis of the IR spectra of the clay mineral revealed the presence of OH groups in the interlayer space, as well as adsorbed water molecules, which significantly affect the technological properties of clay. The test sample contains mainly kaolinite (98%). X-ray phase analysis confirmed the predominant composition of the clay mineral – $Al_2(OH)_4(Si_4O_{10})$.

According to the obtained results of the microstructure analysis, the investigated clay rock is aggregates of kaolinite with unevenly distributed oxides of iron and titanium.

Key words: clay, kaolinite, IR spectra, X-ray phase analysis, scanning microscopy.

Вступ

Природні та синтетичні алюмосилікати з заданими характеристиками є перспективними матеріалами для вирішення цілого кола актуальних наукових завдань, пов'язаних із розробкою нових композитних матеріалів, каталізаторів і сорбентів, що використовуються в технологіях водоочищення [1–4].

Природні шаруваті силікати складають близько 75% осадової частини земної кори. До них відносяться глини і глинисті мінерали – каолінит, монтморилоніт, сапоніт, палигорськіт, вермикуліт тощо [5].

Природні шаруваті силікати – це матеріали, що володіють рядом унікальних властивостей, таких як здатність до іонного обміну, висока катіонно-обмінна ємність, мікро- і нанопорувата структура, наявність поверхневих активних центрів різної природи. Завдяки цим властивостям вони широко використовуються як високоефективні компоненти для відокремлення сполук різної природи та очищення стічних вод, насичених вуглеводнів, розділення гомогенних сумішей газів і рідин, для знешкодження радіоактивних ізотопів, у фармації і косметології [6–9].

Особливістю шаруватих силікатів є здатність до інтеркаляції полярних рідин з розширенням міжпаquetного простору і подальшим розшаровуванням на окремі шари. Ця властивість активно використовується, наприклад, при розробці полімер-неорганічних нанокомпозитів [10].

Кількість робіт, присвячених розробці полімерних нанокомпозитів, постійно зростає. Це пов'язано з можливостями істотного поліпшення ряду фізичних і механічних властивостей у порівнянні з мікро- і макрокомпозитами, що містять таку ж кількість неорганічного наповнювача. Саме властивості шаруватих силікатів адсорбувати катіони металів, органічні сполуки активно застосовуються в технологіях одержання адсорбентів природоохоронного призначення [11; 12].

Водночас природні мінерали є складними, з непостійним складом, багатокомпонентними системами. Їхні фізико-хімічні властивості (вміст основної фази в породі, тип катіонообмінної форми, хімічний склад основних складових) істотно залежать від географічного розташування родовища. Ці обставини обмежують більш широке використання глинистих мінералів у ряді областей, особливо в тих, де необхідна сталість структурних і фізико-хімічних характеристик використовуваних матеріалів, наприклад, для вирішення низки актуальних завдань у харчовій промисловості, ресурсозберігаючих технологіях. Крім того, різноманітність складу, структурних і текстурних характеристик природних мінералів не дозволяють здійснити фундаментальні дослідження впливу структурних і фізико-хімічних параметрів матеріалів на їх сорбційні, каталітичні та інші практично-значимі властивості.

Таким чином визначення особливостей фазового, хімічного та морфологічного складу глинистих порід покладів України дуже важливе і актуальне.

Методика проведення експерименту

Предмет дослідження – це глина Полозького родовища (Україна).

Рентгенофазовий аналіз синтезованих зразків проводили з використанням порошкового дифрактометра ДРОН-2 (СоКа випромінювання, діапазон значень кута 2θ від 10° до 90° з кроком $0,1^\circ$). Середній розмір частинок зразків за даними рентгенівської дифракції оцінювали на підставі розрахунку за формулою Шеррера.

Морфологію синтезованих зразків досліджували методами скануючої електронної мікроскопії. Дослідження методом СЕМ проводили з використанням електронного мікроскопу JSM-6390LV за допомогою стандартного методу підготовки зразків.

Склад поверхні зразків визначали методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії на спектрометрі XSAM-800 Kratos. Вакуум у камері приладу був 10^{-8} мм рт. ст. Фотоелектрони збуджувалися $MgK\alpha$ випромінюванням ($h\nu = 1253.6$ еВ).

Для вивчення структурних особливостей досліджуваних зразків були проведені вимірювання методом ІЧ-спектроскопії поглинання. Вимірювання проводили на Фур'є ІЧ спектрофотометрі Spectrum One (Perkin Elmer) в спектральному діапазоні від 400 до 4000 cm^{-1} . Зразки для вимірювань були виготовлені шляхом пресування досліджуваних порошків з KBr під вакуумом.

Результати та їх обговорення

Метод електронної мікроскопії дозволяє встановити мінеральний склад, розміри, форму частинок глинистих порід, тому на першому етапі визначали гранулометричний склад глинистих порід.

За отриманими результатами аналізу мікроструктури (рис. 1) досліджувана глиниста порода є агрегатами каолініту з ізоморфно розподіленим ферум(III) оксидом та титан(IV) оксиду.

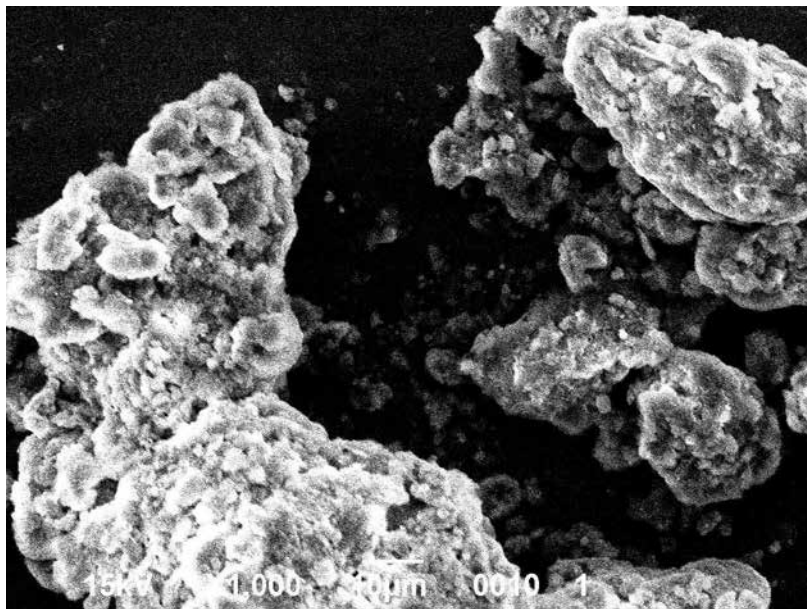


Рис. 1. РЕМ-фотографія глини Полозького родовища

Відомо, що хімічний склад глинистих мінералів непостійний і значною мірою залежить від умов формування породи, геологічного віку, вмісту зв'язаної води тощо. Приблизний склад мінералу каолініту вміщує Al_2O_3 39,56%, SiO_2 46,5%, H_2O 13,94 % з домішками оксидів ферум(III) оксиду, титан(IV) оксиду, кальцій оксиду, калій оксиду. Мікроаналіз хімічних елементів у відміченій точці, показав характерний для каолініту вміст оксиду кремнію та алюмінію (рис. 2).

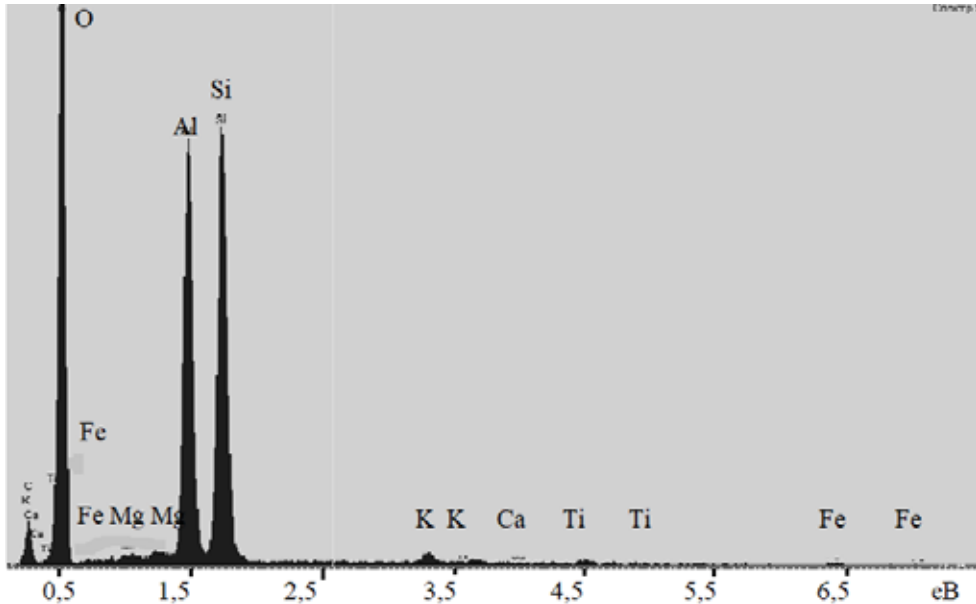


Рис. 2. Спектрограма глини Полоського родовища

Для визначення розподілу каолініту в зразках глинистого мінералу була виконана серія дослідів з визначення елементного складу в обраних точках на поверхні агрегатів і аналіз вмісту хімічних елементів в усередненій пробі. На спектрограмах чітко реєструвалися інтенсивні піки, відповідні алюмінію і силіцію, а кількісний перерахунок на вміст оксидів давав характерне для каолініту співвідношення (табл. 1).

Відомо, що кожній сполуці в складі глини притаманна своя кристалічна решітка зі специфічними параметрами (значеннями величин міжплощинних відстаней d і відносних інтенсивностей I для кожної лінії), що характерні тільки цій фазі. Отримані в результаті рентгенофазового аналізу дифрактограми зразків глини (рис. 3) показали, що характерним є високий вміст каолініту.

Досліджуваний зразок містить переважно каолініт (98%). Хімічна формула – $\text{Al}_4(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$, відповідно серія рефлексів: 7,09; 4,39; 4,21; 3,54; 3,32; 2,54; 2,37; 2,12; 1,98; 1,77; 1,66; 1,53; 1,48; 1,37; 1,28. Кристалічна структура каолініту має певну щільну шарувату структуру.

Як видно з рис. 4, для груп OH^- , розташованих усередині шару і здатних утворювати водневі зв'язки з прилеглим шаром, характерні такі частоти поглинання: 3695, 3670, 3650 cm^{-1} . Саме ці смуги спектра, що чутливі до збурень водневих зв'язків, зумовлені зсувами в високочастотній області, ізоморфними заміщеннями в шарі і іншими факторами [13]. Деформаційні коливання зв'язків Al-OH

зумовлюють смуги поглинання в області менших частот. Для Полозького глинистого мінералу вона проявляється за 913 см^{-1} у вигляді досить інтенсивного піку. Адсорбовані молекули води в міжшаровому просторі каолініту викликають поглинання в області 1656 см^{-1} .

Таблиця 1

Елементний склад глини

Елемент	Умовна конц.	Інтенсивність	Ваговий %	Вагове відхилення %	Атомний %	Сполук од. %	Формула	Число іонів
Na _к	0,04	1,1418	0,10	0,10	0,09	0,14	Na ₂ O	0,02
Mg _к	0,07	0,9784	0,23	0,09	0,20	0,39	MgO	0,04
Al _к	6,25	1,0261	19,62	0,28	14,91	37,06	Al ₂ O ₃	2,81
Si _к	7,30	0,8791	26,76	0,34	19,54	57,25	SiO ₂	3,68
K _к	0,30	1,0075	0,96	0,13	0,50	1,15	K ₂ O	0,09
Ca _к	0,14	0,9620	0,46	0,12	0,24	0,65	CaO	0,04
Ti _к	0,25	0,8093	1,00	0,18	0,43	1,67	TiO ₂	0,08
Fe _к	0,30	0,8102	1,19	0,29	0,44	1,70	Fe ₂ O ₃	0,08
O			49,68	0,42	63,67			12,00
Разом			100,00					
							Сума катіонів	6,85

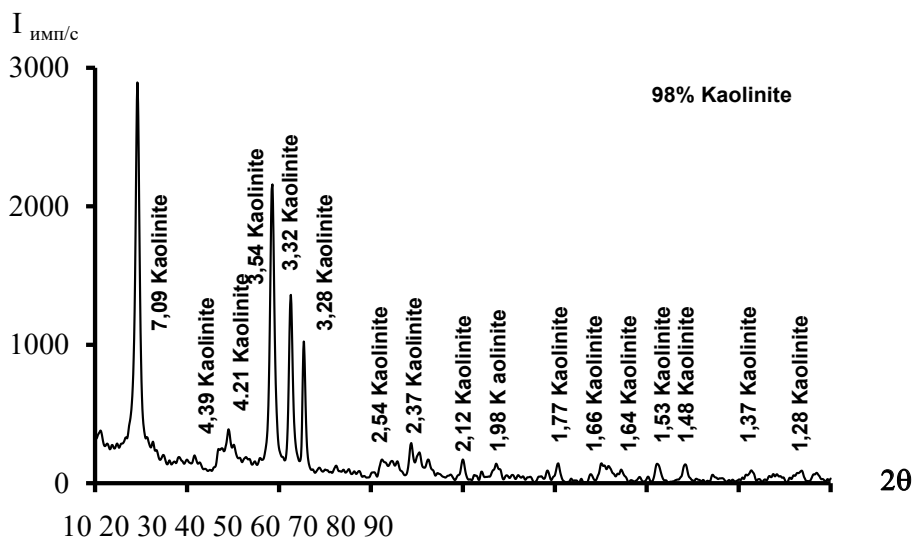


Рис. 3. Рентгенограма глини Полозького родовища

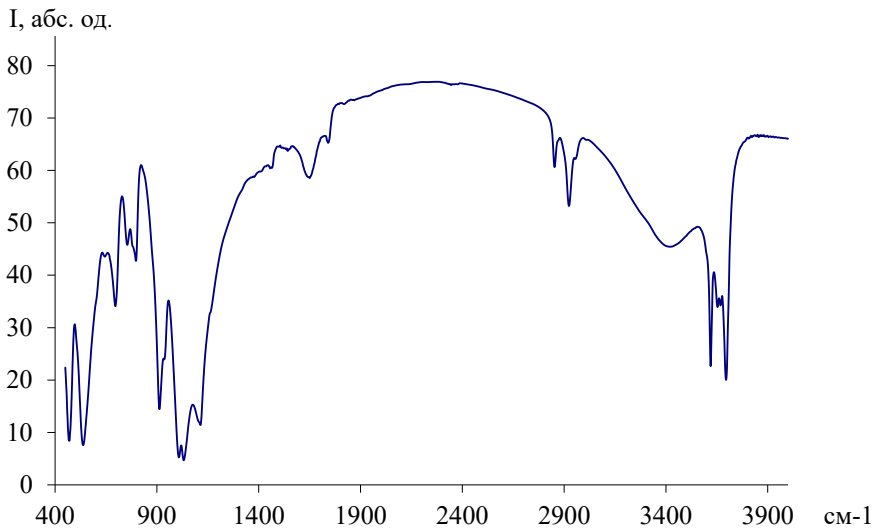


Рис. 4. Інфрачервоні спектри поглинання глини Полозького родовища

Як відомо [13; 14], смуги поглинання силікатної структури каолінів знаходяться в області з хвильовим числом в межах 300-1400 см^{-1} . Валентні коливання уздовж зв'язку Si-O викликають поглинання в області 834-1115 см^{-1} , а деформаційні – при 501-472 см^{-1} . Як видно на рис. 1, зразок глинистого мінералу має широку смугу поглинання в області 914-1115 см^{-1} з піками при 1033 см^{-1} і 1115 см^{-1} , що можна класифікувати як валентні коливання зв'язків Si-O-Si в силікатних групах шаруватої структури.

Смуги поглинання в низькочастотній області з добре вираженими максимумами за 452, 472, 540 см^{-1} зумовлені деформаційними коливаннями зв'язків Si-O-Si. Причому заміщення в октаедричному шарі іона Al^{3+} на Fe^{2+} Ti^{4+} зменшує інтенсивність і частоту смуги за рахунок зміни відстані Me-O-Si і зменшення сили зв'язку, що спостерігається на ІЧ-спектрі для каоліну.

Висновок

Проведені дослідження дали змогу охарактеризувати глинисті породи Полозького родовища з урахуванням їх мінералогічного складу, оцінити основні показники мікроструктури, розташування та тип взаємодії між структурними частинками. На електронно-мікроскопічних знімках за морфологічними особливостями глинисті мінерали були охарактеризовані як агломерати, що складаються з частинок із середнім розміром 5–10 мкм.

Рентгенофазовий аналіз дав змогу орієнтовно визначити кількісний вміст і запропонувати формулу $\text{Al}_4(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$. На основі дослідження якісного складу були спрогнозовані властивості глинистої породи.

Наявність значної кількості каолініту свідчить про відносно низьку адсорбційну ємність глинистої породи та жорстку кристалічну структуру, що зумовлює її міцність і незначну пористість. Така мікроструктура не дозволяє молекулам води та обмінним катіонам заміщувати іони в міжшарових проміжках, це визначає високі міцнісні характеристики і низьку адсорбційну здатність каолінітових глинистих мінералів Полозького родовища, відкриває значний потенціал використання в якості наповнювачів для створення новітніх композитних матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Miranda M.P. et al. Frequency of processed kaolin application to prevent *Diaphorina citri* infestation and dispersal in flushing citrus orchards. *Pest Management Science*. 2021.
2. Fan X. et al. Tough polyacrylamide-tannic acid-kaolin adhesive hydrogels for quick hemostatic application. *Materials Science and Engineering: C*. 2020. Vol. 109. P. 110–649.
3. Huang C. et al. Facile synthesis of mesoporous kaolin catalyst carrier and its application in deep oxidative desulfurization. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2020. Vol. 306. P. 110–415.
4. Jafaripour M. et al. Fabrication and optimization of kaolin/stearic acid composite as a form-stable phase change material for application in the thermal energy storage systems. *Journal of Energy Storage*. 2021. Vol. 33. P. 102–155.
5. Velde B.B., Meunier A. The origin of clay minerals in soils and weathered rocks. *Springer Science & Business Media*, 2008.
6. Dinis L.T. et al. Overview of Kaolin Outcomes from vine to wine: Cerceal white variety case study. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. № 9. P. 14–22.
7. Jantanaprasartporn A., Tongcumpou C., Tuntiwiwattanapun N. Influence of Quartz, Kaolin, and Organic Matter on the Critical Micelle Concentration of Tween Surfactants and their Application in Diesel-Contaminated Soil Washing. *Journal of Surfactants and Detergents*. 2021. Vol. 24. № 1. P. 75–83.
8. Gandhi D., Bandyopadhyay R., Parikh S. Structural and composition enhancement of Indian Kachchh kaolin clay: characterisation and application as low-cost catalyst. *Indian Chemical Engineer*. 2020. P. 1–11.
9. Wahyuni N., Zaharah T.A., Ria R. Characterization of Hydrochloric Acid Activated Natural Kaolin and its application as adsorbent for Mg^{2+} . *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. Vol. 1882. № 1. P. 12–99.
10. Feriancová A. et al. Modification of the filler on the basis of kaolin and its use in the polymer composites. *Machine modeling and simulations*. 2020. Vol. 2020.
11. Wang Y., Zhou S., Du H. Investigation of dielectric properties of polymer composites with kaolin. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2018. Vol. 29. № 14. P. 12360–12365.
12. Jawad A.H., Abdulhameed A.S. Facile synthesis of crosslinked chitosan-tripolyphosphate/kaolin clay composite for decolourization and COD reduction of remazol brilliant blue R dye: optimization by using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020. Vol. 605. P. 125–329.
13. Frost R.L., Johansson U. Combination bands in the infrared spectroscopy of kaolins – a DRIFT spectroscopic study. *Clays and Clay Minerals*. 1998. Vol. 46. № 4. P. 466–477.
14. Parker T.W. A classification of kaolinites by infrared spectroscopy. *Clay Minerals*. 1969. Vol. 8. № 2. P. 135–141.

REFERENCES:

1. Miranda, M.P., Eduardo, W.I., Tomaseto, A.F., Volpe, H.X.L., Bachmann, L. (2021). Frequency of processed kaolin application to prevent *Diaphorina citri* infestation and dispersal in flushing citrus orchards. *Pest Management Science*.
2. Fan, X., Wang, S., Fang, Y., Li, P., Zhou, W., Wang, Z., Liu, H. (2020). Tough polyacrylamide-tannic acid-kaolin adhesive hydrogels for quick hemostatic application. *Materials Science and Engineering: C*, 109, 110–649.
3. Huang, C., Wu, P., Guo, Y., Guo, Y. (2020). Facile synthesis of mesoporous kaolin catalyst carrier and its application in deep oxidative desulfurization. *Microporous and Mesoporous Materials*, 306, 110–415.

4. Jafaripour, M., Sadrameli, S.M., Pahlavanzadeh, H., Mousavi, S.S. (2021). Fabrication and optimization of kaolin/stearic acid composite as a form-stable phase change material for application in the thermal energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 33, 102155.
 5. Velde, B.B., Meunier, A. (2008). *The origin of clay minerals in soils and weathered rocks*. Springer Science & Business Media.
 6. Dinis, L.T., Bernardo, S., Matos, C., Malheiro, A., Flores, R., Alves, S., Moutinho-Pereira, J. (2020). Overview of Kaolin Outcomes from vine to wine: Cerceal white variety case study. *Agronomy*, 10(9), 14–22.
 7. Jantanaprasartporn, A., Tongcumpou, C., Tuntiwiwattanapun, N. (2021). Influence of Quartz, Kaolin, and Organic Matter on the Critical Micelle Concentration of Tween Surfactants and their Application in Diesel-Contaminated Soil Washing. *Journal of Surfactants and Detergents*, 24(1), 75–83.
 8. Gandhi, D., Bandyopadhyay, R., Parikh, S. (2020). Structural and composition enhancement of Indian Kachchh kaolin clay: characterisation and application as low-cost catalyst. *Indian Chemical Engineer*, 1–11.
 9. Wahyuni, N., Zaharah, T.A., Ria, R. (2021, May). Characterization of Hydrochloric Acid Activated Natural Kaolin and its application as adsorbent for Mg^{2+} . In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1882, No. 1, p. 012099). IOP Publishing.
 10. Feriancová, A., Dubec, A., Pajtášová, M. (2020, August). Modification of the filler on the basis of kaolin and its use in the polymer composites. In *Machine modeling and simulations 2020*.
 11. Wang, Y., Zhou, S., Du, H. (2018). Investigation of dielectric properties of polymer composites with kaolin. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(14), 12360–12365.
 12. Jawad, A.H., Abdulhameed, A.S. (2020). Facile synthesis of crosslinked chitosan-tripolyphosphate/kaolin clay composite for decolourization and COD reduction of remazol brilliant blue R dye: optimization by using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 605, 125–329.
 13. Frost, R.L., Johansson, U. (1998). Combination bands in the infrared spectroscopy of kaolins--a DRIFT spectroscopic study. *Clays and Clay Minerals*, 46(4), 466–477.
 14. Parker, T.W. (1969). A classification of kaolinites by infrared spectroscopy. *Clay Minerals*, 8(2), 135–141.
-

УДК 624.01

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.3.15>

ПРОЄКТУВАННЯ РЕШІТЧАСТОЇ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТОЇ СТАЛЕВОЇ КОЛОНИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ

Чеканович М.Г. – кандидат технічних наук,

професор кафедри будівництва

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0002-9110-4109

Янін О.Є. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри будівництва

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0003-0230-8669

У статті викладене теоретичне обґрунтування методики використання комп'ютерного середовища MathCAD для проєктування решітчастої позацинтрочно-стиснутої сталевон колони, яка утворюється з двох гілок. Такі колони входять до складу поперечної рами промислової будівлі.

Підкранова гілка розглядається у вигляді нормального двотавра з паралельними гранями полиць. Зовнішня гілка розглядається у вигляді складеного зварного швелера з трьох листів. Гілки з'єднуються решіткою трикутної системи, яка розташована у двох площинах по зовнішніх гранях гілок. Припускається, що решітчаста наскрізна колона працює як шарнірна ферма і в її гілках виникають поздовжні сили. Проєктування колони виконується з огляду на забезпечення стійкості як колони в цілому, так і окремих її елементів.

Запропонований алгоритм рішення задачі у комп'ютерному середовищі MathCAD поділений на блоки, які призначені для реалізації певних етапів проєктування. На початковому етапі алгоритму передбачені введення вихідних даних і задання необхідних для розрахунку функцій.

Підпрограма знаходження номеру профільної двотаврової підкранової гілки базується на принципі послідовного перегляду елементів відповідного сортаменту. Перегляд завершується на тому калібрі профілю, за якого буде забезпечена загальна стійкість гілки. Водночас знайдений калібр відповідає мінімальним витратам сталі.

Підпрограма визначення розмірів поперечного перерізу зовнішньої складеної гілки базується на рішенні системи рівнянь загальної і місцевої стійкості за допомогою засобів комп'ютерного середовища MathCAD.

Визначення проєктних розмірів колони при фактичних розрахункових поздовжніх силах у гілках виконується методом послідовних наближень, оскільки треба визначити фактичне положення центру ваги перерізу. Цикли послідовних наближень організовані за допомогою оператора while.

Стійкість гілок у площині поперечної рами будівлі забезпечується відповідним програмним підбором відстані між вузлами решітки наскрізної колони.

Розроблена комп'ютерна методика визначення розмірів поперечного перерізу гілок і розкосів решітчастої позацинтрочно-стиснутої сталевон колони відкриває можливість швидко та ефективно проєктувати такі конструкції згідно з вимогами діючих будівельних норм.

Ключові слова: сталева наскрізна колона, комп'ютерне середовище, двотавр, швелер, гілка, загальна та місцева стійкість.

Chekanovych M.H., Yanin O.Y. Designing a lattice eccentrically compressed steel column using computer software

The article describes the theoretical substantiation of the methodology for using the MathCAD computer environment for the design of a lattice eccentrically compressed steel column, which consists of two branches. Such columns are part of the transverse frame of an industrial building.

The crane branch is viewed as a normal I-beam with parallel flange edges. The outer branch is considered as a composite welded channel of three sheets. The branches are connected by

a lattice of a triangular system located in two planes along the outer edges of the branches. It is assumed that the lattice through column operates as a hinged farm and longitudinal forces arise in its branches. The design of the column is carried out on the basis of ensuring the stability of both the column as a whole and its individual elements.

The proposed algorithm for solving the problem in the MathCAD computer environment is divided into blocks that are designed to implement certain design stages. At the initial stage of the algorithm, the input of the initial data and the specification of the functions necessary for the calculation are provided.

The subroutine for finding the number of a profile I-section crane branch is based on the principle of sequential viewing of the elements of the corresponding assortment. The viewing ends at the profile caliber at which the overall stability of the branch will be ensured. At the same time, the found caliber corresponds to the minimum cost of steel.

The subroutine for determining the cross-section dimensions of the external compound branch is based on solving the system of equations for general and local stability using the MathCAD computer environment.

Determination of the design dimensions of the column with the actual design longitudinal forces in the branches is performed by the method of successive approximations, since it is necessary to determine the actual position of the gravity center of the section. Successive approximation cycles are organized using the while operator.

The stability of the branches in the plane of the transverse frame of the building is ensured by the appropriate software selection of the distance between the nodes of the lattice of the through column.

The developed computer technique for determining the dimensions of the cross-section of the branches and braces of a lattice eccentrically compressed steel column opens up the opportunity to design such structures quickly and efficiently in accordance with the requirements of the current building codes.

Key words: steel through column, computer environment, I-beam, channel, branch, general and local stability.

Вступ. На сучасному етапі економічного розвитку України важливим завданням будівельної галузі вважаємо відновлення, реконструкцію не тільки житлових будівників, а й виробничих будівель і інженерних споруд, де проблема проектування решітчастої позацентрово-стиснутої сталевий колони за допомогою комп'ютерної програми з огляду на забезпечення загальної та місцевої стійкості є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що стержень наскрізних решітчастих сталевих колон утворюється з двох гілок, які з'єднуються між собою за допомогою елементів решітки (рис. 1). Така колона входить до складу поперечної рами промислової будівлі [1-3].

Підкранова гілка (гілка № 1) часто виконується у вигляді нормального двотавра з паралельними гранями полиць.

Зовнішня гілка (гілка № 2), як правило, являє собою складений зварний швелер з трьох листів.

Гілки з'єднуються решіткою трикутної системи, яка розташована у двох площинах по зовнішніх гранях гілок. Площина згину, що співпадає з площиною поперечної рами будинку, паралельна площинам розташування решітки і перпендикулярна осі X .

У колоні, як єдиному наскрізному стержні, у загальному випадку діють поздовжня стискаюча сила N і згинальний момент M відносно осі X . Тоді решітчаста наскрізна колона працює як шарнірна ферма і у її гілках виникають поздовжні сили.

Розміри поперечного перерізу гілок визначають з огляду на забезпечення [4]:

– загальної стійкості обох гілок у площині та з площини поперечної рами будівлі як центрально-стиснутого елементу;

- загальної стійкості колони в цілому в площині поперечної рами будівлі як єдиного позакентрово-стиснутого наскрізного елемента;
- місцевої стійкості стінки і полиць складеної зварної зовнішньої гілки.

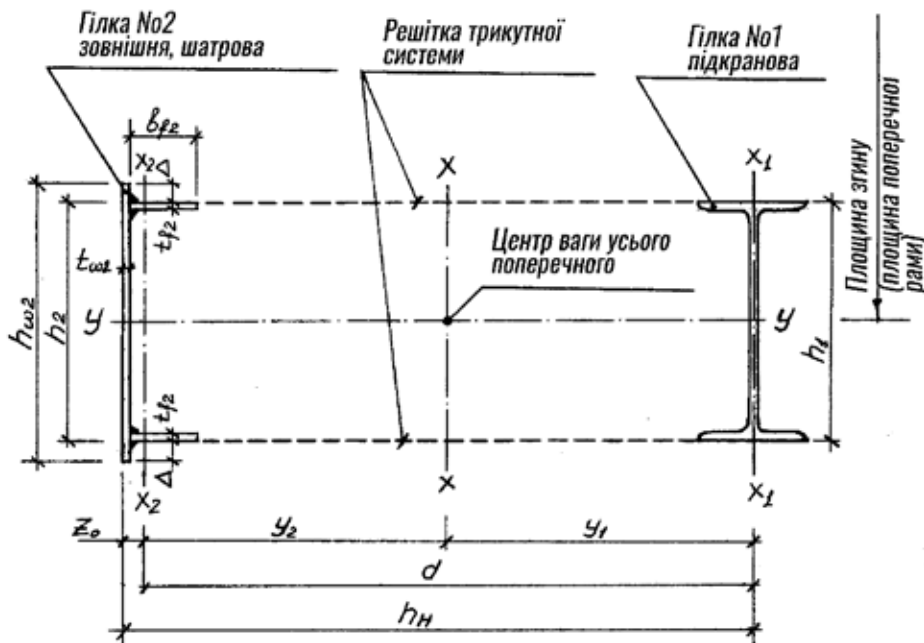


Рис. 1. Поперечний переріз колони

Загальну стійкість центрально-стиснутої i -тої гілки перевіряють згідно з умовою [4]

$$\frac{N_{ai}}{\phi_i A_{ai} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

де N_{ai} – максимальна поздовжня стискаюча сила у i -тій гілці;

ϕ_i – коефіцієнт стійкості гілки;

A_{ai} – площа поперечного перерізу i -тої гілки;

R_y – розрахунковий опір сталі при розтягуванні, стисканні та згинанні;

γ_c – коефіцієнт умов роботи колони.

Для підкранової гілки $i=1$, для зовнішньої гілки $i=2$.

Загальну стійкість позакентрово-стиснутої колони у площині поперечної рами як єдиного наскрізного стержня перевіряють згідно з умовою [4]:

$$\frac{N}{\phi_e A R_y \gamma_c} \leq 1; \quad (2)$$

де N – гранична розрахункова поздовжня стискаюча сила;

ϕ_e – коефіцієнт стійкості при позакентровому стиску колони;

A – площа поперечного перерізу обох гілок.

Підбір розмірів поперечних перерізів гілок виконують спочатку виходячи із забезпечення їх стійкості з площини поперечної рами будівлі як центрально-стиснутого елемента [5–7]. Для цього необхідно мати максимальні поздовжні стискаючі

зусилля N_{ei} у гілках. Вони визначаються положенням центру ваги всього поперечного перерізу колони і розраховуються за формулами:

– для підкранової гілки

$$N_{e1} = N_1 \frac{y_2}{h_0} + \frac{M_1}{h_0}; \quad (3)$$

– для зовнішньої гілки

$$N_{e2} = N_2 \frac{y_1}{h_0} + \frac{M_2}{h_0}, \quad (4)$$

де N_1 і M_1 – граничні розрахункові поздовжня сила і згинальний момент у стержні колони як єдиного елементу від розрахункового сполучення навантажень для підкранової гілки;

N_2 і M_2 – те ж для зовнішньої гілки;

y_1 і y_2 – відстані від центру ваги перерізу колони до центрів ваги перерізів гілок (див. рис. 1);

h_0 – відстань між центрами ваги гілок.

Розміри y_1 і y_2 визначаються площами поперечних перерізів гілок і відповідно розраховуються за формулами

$$y_1 = \frac{A_{e2} h_0}{A_{e1} + A_{e2}}; \quad (5)$$

$$y_2 = h_0 - y_1. \quad (6)$$

Для визначення розмірів y_1 і y_2 необхідно мати розміри поперечних перерізів гілок. Але вони є невідомими. З цього випливає, що точне значення поздовжнього зусилля N_{ei} є невідомим, і визначити розміри перерізів обох гілок на підставі умови (1) неможливо.

Традиційно задачу проектування вирішують шляхом послідовних наближень у наступному порядку [8-11]:

1) приймають у першому наближенні

$$y_1 \approx (0,45-0,55)h_0; \quad (7)$$

$$y_2 \approx (0,55-0,45)h_0; \quad (8)$$

$$h_0 \approx h_n; \quad (9)$$

2) визначають розрахункові граничні зусилля N_{e1} і N_{e2} згідно з формулами (3) і (4);

3) виконують підбір розмірів перерізів гілок і знаходять A_{e1} і A_{e2} ;

4) згідно з формулами (5) і (6) розраховують y_1 і y_2 ;

5) згідно з формулами (3) і (4) обчислюють уточнені розрахункові граничні зусилля N_{e1} і N_{e2} ;

6) перевіряють стійкість обох гілок з площини поперечної рами згідно з умовою (1).

У випадках, коли стійкість буде не забезпеченою або забезпеченою з великим запасом, треба виконувати наступний цикл наближення при знайдених параметрах y_1 , y_2 , N_{e1} і N_{e2} , починаючи з поз. 3.

Відповідно до традиційного підходу, після підбору перерізів гілок визначають перерізи елементів решітки. Відстань між вузлами знаходять таким чином, щоб була забезпечена стійкість гілок у площині поперечної рами. Потім перевіряють загальну стійкість колони у площині поперечної рами як наскрізного

позацентрово стиснутого елемента. При необхідності коректують розміри перерізів гілок [1–3].

Постановка проблеми. Описаний шлях послідовних наближень є досить трудомістким і не дає можливості отримати точне рішення задачі. Тому підбір розмірів поперечних перерізів гілок, зважаючи на забезпечення їх загальної стійкості з площини поперечної рами, доцільно виконувати за допомогою комп'ютерної програми. Це дозволить автоматизувати процес проєктування та скоротити час на розрахунки.

Мета дослідження – розробка методики визначення розмірів поперечного перерізу гілок і розкосів решітчастої позацентрово-стиснутої сталеві колони за допомогою комп'ютерної програми згідно з вимогами будівельних норм при врахуванні специфіки виготовлення і монтажу таких колон.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підбору розмірів поперечних перерізів гілок колони на підставі забезпечення вказаних вище нормативних вимог пропонується реалізовувати алгоритм у комп'ютерному середовищі *MathCAD*. Цей алгоритм поділений на блоки, які призначені для реалізації певних етапів проєктування.

У блоку № 1 виконується введення вихідних даних для подальших розрахунків.

У блоку № 2 задаються функції:

– коефіцієнту стійкості колони φ ;

– гнучкості полиць і стінки зовнішньої гілки (відповідно $\lambda_{\omega 2}(\lambda_{usL}, R_y)$ і $\lambda_{f2}(\lambda_{usL}, R_y)$).

Тут λ_{usL} – умовна гнучкість гілки.

Гнучкості полиць і стінки можуть дорівнювати граничним величинам.

Блок № 3 являє собою підпрограму знаходження номеру профільної двотаврової підкранової гілки, з огляду на умову її загальної стійкості з площини поперечної рами як центрально-стиснутого стержня при відомій поздовжній силі у гілці N_e і розрахунковому опорі сталі при розтягуванні, стисканні та згинанні R_y . Цій гілці відповідає індекс 1. Підпрограма задається як функція виду $NUM(N_e, R_y)$. Номер профілю визначається згідно із сортаментом профільної сталі. Кожний її рядок відповідає одному калібру профілю. Він містить необхідні геометричні характеристики і параметри:

– висоту поперечного перерізу гілки $h = h_f$;

– площу поперечного перерізу гілки A ;

– радіус інерції поперечного перерізу гілки i_y відносно осі, що паралельна обом полицям (на рис. 1 вісь $y-y$).

Рядки розташовані у порядку збільшення площі поперечного перерізу двотавру. Програмним шляхом реалізується послідовний розгляд рядків зверху вниз. При цьому для кожного рядка перевіряється загальна стійкість підкранової гілки з площини поперечної рами будівлі. Розгляд завершується на тому рядку, для якого стійкість гілки з площини поперечної рами буде забезпечена. Номер цього рядка позначений літерою «*K*». Такий підхід дозволяє знайти калібр профілю з мінімальною площею перерізу, для якого забезпечена стійкість підкранової гілки у вказаному напрямку.

Блок № 4 являє собою підпрограму визначення розмірів поперечного перерізу зовнішньої гілки b_{f2} , t_{f2} і $t_{\omega 2}$ (див. рис. 1) за умови заданих розмірів $h_{\omega 2}$ і h_2 у напрямку з площини рами будівлі, а також за певного розрахункового поздовжнього зусилля у гілці N_{e2} . Цій гілці в такому алгоритмі відповідає індекс 2. Розміри поперечного перерізу гілки визначаються на підставі забезпечення загальної

стійкості з площини поперечної рами, а також рівності гнучкості полиць і стінки визначеним у блоку № 2 значенням. Для цього вирішується наведена нижче система:

$$\frac{N_{e2}}{\phi_{y2} A_{e2} R_{y2} \gamma_c} = 1; \quad (10)$$

$$\frac{h_2 - 2t_{f2}}{t_{\omega 2}} = \lambda_{\omega 2} (\lambda_{usl2}, R_{y2}); \quad (11)$$

$$\frac{b_{f2}}{t_{f2}} = \lambda_{f2} (\lambda_{usl2}, R_{y2}). \quad (12)$$

Розрахункові параметри ϕ_{y2} і λ_{usl2} виражені через такі геометричні характеристики поперечного перерізу зовнішньої гілки:

- радіус інерції відносно осі $Y - i_{y2}$;
- площу гілки $- A_{e2}$;
- момент інерції гілки відносно осі $Y - I_{y2}$.

Ці характеристики залежать, зокрема, від розмірів b_{f2} , t_{f2} і $t_{\omega 2}$, які необхідно визначити. Тоді, система трьох рівнянь (10–12) містить три невідомі (b_{f2} , t_{f2} і $t_{\omega 2}$) і має певне рішення, яке виражається в алгоритмі у вигляді функції F_f . Аргументами цієї функції окрім невідомих b_{f2} , t_{f2} , $t_{\omega 2}$, λ_{y2} , λ_{usl2} , I_{y2} , A_{e2} , i_{y2} , ϕ_{y2} , будуть також задані параметри $h_{\omega 2}$, h_2 , і N_{e2} . Тут λ_{y2} – гнучкість зовнішньої гілки з площини поперечної рами.

Блок № 5 є підпрограмою знаходження калібру профілю двотаврової прокатної підкранової гілки і розмірів перерізу зовнішньої гілки ($h_{\omega 2}$, h_2 , b_{f2} , t_{f2} , $t_{\omega 2}$) із умови забезпечення їх стійкості з площини поперечної рами будівлі як центрально-стиснутих елементів при фактичних розрахункових поздовжніх силах у гілках N_{e1} і N_{e2} . Для рішення цієї задачі використовується метод послідовних наближень. При виконанні першого циклу наближення передбачається, що $y_1 = 0,5h_0$ і $y_2 = 0,5h_0$ (див. рис. 1). При цих значеннях за формулами (3) і (4) розраховуються поздовжні сили у обох гілках N_{e1} і N_{e2} . Далі, за допомогою підпрограми блоку № 3 при $N_b = N_{e1}$ знаходиться калібр профільного двотавру підкранової гілки (nm) та фіксуються його висота h_1 і площа поперечного перерізу A_{e1} . Оскільки $h_2 = h_1$ (див. рис. 1), значенню h_2 присвоюється значення h_1 . Потім розраховується висота стінки зовнішньої гілки $h_{\omega 2} = h_2 + \Delta$. Відстань Δ приймається таким чином, щоб можна було розмістити зварні шви. Для визначення решти розмірів перерізу зовнішньої гілки (b_{f2} , t_{f2} , $t_{\omega 2}$) застосовується підпрограма блоку № 4. За допомогою цієї підпрограми обчислюються величини b_{f2} , t_{f2} , $t_{\omega 2}$ при знайдених раніше параметрах $h_{\omega 2}$, h_2 і N_{e2} . Для цього вводиться одномірний масив-вектор B , якому присвоюється значення функції F_f . Після цього при визначених розмірах поперечних перерізів гілок послідовно розраховуються:

- площа перерізу зовнішньої гілки A_{e1} ;
- відстань від зовнішньої межі зовнішньої гілки до її центру ваги z_0 (див. рис. 1);
- відстань між осями обох гілок h_0 ;
- відстані y_1 і y_2 ;
- розрахункові поздовжні сили у гілках N_{e1} і N_{e2} .

Цикли послідовного наближення задаються за допомогою оператора *while* (поки). Вони будуть виконуватись до тих пір, поки різниця за модулем $|y_I - y_{0I}|$ перевищує певну погрішність δ . Тут y_{0I} – початковий (попередній) розмір y_I . Для того, щоб виконати перший вхід у цикли, перед ними розміру y_{0I} присвоюється нульове значення. Отже, до входу у цикли різниця $|y_I - y_{0I}| = |0,5h_0 - 0|$ перевищує погрішність δ , і первісний вхід до циклів буде реалізований. У всіх циклах перед знаходженням y_I , попереднє значення цієї величини присвоюється змінній y_{0I} . Після виконання будь-якого циклу здійснюється розрахунок різниці $|y_I - y_{0I}|$. Якщо різниця не менше ніж δ , то починається наступний цикл наближення.

Під час виконання підпрограми блоку № 5 будуть визначені розміри поперечних перерізів обох гілок, при яких вони будуть стійкими у напрямку з площини поперечної рами при діючих у них поздовжніх зусиллях і мінімальних витратах матеріалу для підкранової гілки. Ліва і права частини умови загальної стійкості для зовнішньої гілки колони будуть приблизно рівними при достатньо малому значенні параметра δ .

Під час проектування розміри перерізу зовнішньої гілки (b_{j2} , t_{j2} , $t_{\omega 2}$, $h_{\omega 2}$) необхідно прийняти з урахуванням вимог уніфікації, а також технологічних і конструктивних вимог [5]. При остаточно призначених розмірах поперечних перерізів обох гілок у блоку виконуються перевірки їх стійкості з площини поперечної рами будівлі. У блоку також передбачені перевірки місцевої стійкості полиць і стінки зовнішньої гілки колони. Для цього порівнюються призначені та граничні гнучкості полиць і стінки.

Гілки будуть стійкими у площині поперечної рами, якщо виконані такі умови:

$$\lambda_{x1} \leq \lambda_{y1}; \quad (13)$$

$$\lambda_{x2} \leq \lambda_{y2}, \quad (14)$$

де λ_{x1} і λ_{x2} – відповідно гнучкості підкранової та зовнішньої гілок у площині поперечної рами будівлі при прийнятих розмірах поперечного перерізу;

λ_{y1} і λ_{y2} – фактичні гнучкості гілок з площини поперечної рами будівлі.

У цих перевірках передбачається, що стійкість обох гілок з площини поперечної рами будівлі при значеннях гнучкості λ_{y1} і λ_{y2} забезпечена.

Гнучкості λ_{x1} і λ_{x2} обчислюються за наведеними нижче формулами:

$$\lambda_{x1} = \frac{l_e}{i_{x1}}; \quad (15)$$

$$\lambda_{x2} = \frac{l_e}{i_{x2}}, \quad (16)$$

де l_e – відстань між вузлами решітки наскрізної колони;

i_{x1} і i_{x2} – відповідно радіуси інерції перерізів підкранової і зовнішньої гілок у площині поперечної рами будівлі.

З формул (13) і (14) з урахуванням виразів (15) і (16) будемо мати

$$l_e \leq \lambda_{y1} i_{x1} = l_{e1}; \quad (17)$$

$$l_e \leq \lambda_{y2} i_{x2} = l_{e2}. \quad (18)$$

Для того, щоб гілки у площині поперечної рами будівлі були стійкими, розмір l_e не повинен перевищувати розрахованих значень l_{e1} і l_{e2} . На підставі цього у блоку № 6 розраховується відстань між вузлами наскрізної колони. Також

передбачається перевірка стійкості обох гілок у площині поперечної рами при фактичній відстані l_e .

У блоку № 7 підбираються розкоси решітки колони у вигляді профільного рівнобічного кутика, зважаючи на забезпечення його стійкості у площині найменшої жорсткості як центрально-стиснутого елемента [12].

У блоку № 8 перевіряється загальна стійкість наскрізної колони у площині поперечної рами будівлі як єдиного позацентрово-стиснутого елемента.

Висновки і пропозиції:

1. Розроблена методика визначення розмірів поперечного перерізу гілок і розкосів решітчастої позацентрово-стиснутої сталеві колони дає можливість швидко та ефективно проєктувати такі конструкції згідно з вимогами діючих будівельних норм.

2. Проєктування наскрізних сталевих колон доцільно виконувати за допомогою комп'ютерної програми. Це дозволяє автоматизувати процес проєктування та скоротити трудомісткість розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Зорин З.Я. Стальные конструкции. Проектирование на стадии КМД / З.Я. Зорин, А.А. Новицкий. Киев : Сталь, 2015. 268 с.
2. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций : Учеб. пособие для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1991. 431 с.
3. Металлические конструкции. Общий курс : Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Ведеников и др.; Под. общ. ред. Е.И. Беленя. 6-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1986. 560 с., ил.
4. ДБН В.2.6-163: 2010. Сталеві конструкції / Норми проєктування, виготовлення і монтажу / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. Київ, 2011. 202 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-199-2014. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2015. 59 с.
6. Будівельні конструкції, будівлі та споруди третього тисячоліття : Збірник матеріалів Науково-практичної інтернет-конференції. Херсон : ДВНЗ ХДАУ, 2017. 132 с.
7. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського / За заг. ред. заслуженого діяча науки і техніки України, члена-кореспондента НАН України, д.т.н., проф. О.В. Шимановського. Київ : Вид-во «Сталь», 2014. Вип. 14. 152 с.
8. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції : Підручник. Львів : Світ, 2002. 312 с.
9. Лугченко О.І. Конспект лекцій з курсів «Будівельні конструкції» та «Будівельні конструкції. Металеві конструкції» / О. І. Лугченко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. Харків : ХНУМГ, 2013. 158 с.
10. Марк Лоусон, Артем Билык. Стальные конструкции в архитектуре. Киев : ООО «НПП «Интерсервис», 2014. 135 с.
11. Металлические конструкции: Общий курс : Учебник для студентов высших учебных заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. ; под ред. Ю.И. Кудишина. Москва : Изд. центр «Академия», 2008. 688 с.
12. Металеві конструкції: Загальний курс : Підручник для вищих навчальних закладів. Видання 2-е, перероблене і доповнене / О.О. Нілов, В.О. Пермяков та ін. ; за заг. ред. О.О. Нілова та О.В. Шимановського. Київ : Видавництво «Сталь», 2010. 869 с.

REFERENCES:

1. Zorin Z.YA. Stal'nyye konstruksii. Proyektirovaniye na stadii KMD / Z.YA. Zorin, A.A. Novitskiy. – Kiyev: Stal', 2015 – 268 s.
2. Mandrikov A.P. Primery rascheta metallicheskih konstruksiy: Ucheb posobiye dlya tekhnikumov. – 2-ye izd., pererab. i dop. – M.: Stroyizdat, 1991. – 431 s.
3. Metallicheskiye konstruksii. Obshchiy kurs: Uchebnik dlya vuzov / Ye.I. Belenya, V.A. Baldin, G.S. Vedenikov i dr.; Pod. obshch. red. Ye.I. Belenya. 6-ye izd., pererab. i dop. – M.: Stroyizdat, 1986. – 560 s., il.
4. DBN V.2.6-163: 2010. Stalevi konstruksii / Normi proyektuvannya, vilotovlennya i montazhu / Ministerstvo regional'nogo rozvitku ta budivnitstva Ukraini. – Kiiv, 2011. – 202 s.
5. DSTU B V.2.6-199-2014. Konstruksii stalevi budivel'ni. Vimogi do vilotovlennya – K.: DP «Ukrarhbuildinform», 2015. – 59 s.
6. Budivel'ni konstruksii, budivli ta sporudi tret'ogo tisyacholittya: Zbirnik materialiv Naukovo-praktichnoi internet-konferentsii. – Kherson: DVNZ KHAU, 2017. – 132 s.
7. Zbirnik naukovikh prats' Ukrain'skogo institutu stalevikh konstruksiy imeni V. M. Shimanov'skogo / Pid zagal'noyu redaktsiyeu zasluhenogo diyacha nauki i tekhniki Ukraini, chlena-korespondenta NAN Ukraini, d.t.n., profesora O. V. Shimanov'skogo. – K.: Vid-vo «Stal'», 2014. – Vip. 14. – 152 s.
8. Klimenko F.E., Barabash V. M., Storozhenko L.I. Metalevi konstruksii: Pidruchnik. L'viv: Svít, 2002 – 312 s.
9. Lugchenko O.I. Konspekt lektsiy z kursiv «Budivel'ni konstruksii» ta «Budivel'ni konstruksii. Metalevi konstruksii» / O. I. Lugchenko; Khark. nats. un-t mis'k. gosp-va im. O.M. Beketova. – KH.: KHNUG, 2013. – 158 s.
10. Mark Louson, Artem Bilyk. Stal'nyye konstruksii v arkhitekture. – K. OOO «NPP «Interservis», 2014 – 135 s.
11. Metallicheskiye konstruksii: Obshchiy kurs: Uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy / YU.I. Kudishin, Ye.I. Belenya, V.S. Ignat'yeva i dr. / pod red. YU.I. Kudishina – M.: Izd. tsentr Akademiya», 2008. – 688 s.
12. Nilov O.O., Permyakov V.O., Shimanov'skiy O.V., Bilik S.I., Lavrinenko L.I., Belov I.D., Volodimirs'kiy V.O. Metalevi konstruksii: Zagal'niy kurs: Pidruchnik dlya vishchikh navchal'nikh zakladiv. – Vidannya 2-ye, pereroblene i dopovnene / Pid zagal'noyu redaktsiyeu O.O. Nilova ta O.V. Shimanov'skogo. – K.: Vidavnistvo «Stal'», 2010. – 869 s.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ШАРНІРНО ОПЕРТОЇ ТРИШАРОВОЇ ПЛАСТИНКИ, ЩО ПІДКРІПЛЕНА ОДНИМ РЕБРОМ ЖОРСТКОСТІ

Смел'янова Т.А. – кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри будівництва
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0001-5191-8418

У статті розглянуто задачу стійкості тришарової пластинки симетричної будови за товщиною з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, що підкріплена одним попердовжнім ребром жорсткості з урахуванням дії попердовжніх сил у серединних площинах зовнішніх шарів та в ребрі. Обґрунтовано актуальність питання стійкості саме підкріплених тришарових пластинок, які вивчені недостатньо. Відзначена відсутність практичних та теоретичних баз для параметричних досліджень стійкості зазначених пластинок.

Зазначено, що за допомогою варіаційного принципу Остроградського–Гамільтона отримані рівняння руху тришарової пластинки симетричної будови, підкріпленої ребрами жорсткості у двох взаємно перпендикулярних напрямках з урахуванням дії попердовжніх сил у серединних площинах зовнішніх шарів і ребрах, граничні умови й умови по лініях ребер. Під час виведення рівнянь передбачалося, що заповнювач легкий, а ребра мають однакову жорсткість в одному напрямку й розташовані на однакових відстанях. Для зовнішніх несучих шарів приймалися гіпотези Кірхгофа–Лява, а для заповнювача і ребер – лінійний закон зміни тангенціальних переміщень за товщиною та враховувався згин ребер у вертикальній площині.

Отримані диференціальні рівняння стійкості ділянки пластинки, яка замкнена між ребром та краями пластинки, без урахування згинальної жорсткості зовнішніх шарів. За допомогою граничного переходу отримані умови по боках пластинки та лінії ребра за наявності на опорних кромках діафрагм без урахування крутильної жорсткості ребер.

Отримано рівняння стійкості тришарової пластинки симетричної будови з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, підкріпленої одним попердовжнім ребром жорсткості. Отримані рівняння для визначення параметру жорсткості та параметру критичних сил. Проаналізовані форми втрати стійкості зазначеної пластинки.

Ключові слова: тришарова пластинка, легкий заповнювач, ребро жорсткості, стійкість, жорсткість пластинки, жорсткість ребра, параметр зсуву, параметр жорсткості, параметр критичних сил, рівняння стійкості тришарової пластинки, граничні умови.

Yemelianova T.A. Investigation of a three-layered hinge-supported plate supported by one longitudinal rib of rigidity

The article considers the problem of stability of a three-layer plate of symmetrical structure in thickness with a light transversely isotropic filler, supported by one longitudinal rigidity rib taking into account the action of longitudinal forces in the middle planes of the outer layers and in the edge. The urgency of the question of the stability of the reinforced three-layer plates, which are insufficiently studied, is substantiated. The lack of practical and theoretical bases for parametric studies of the stability of these plates is noted.

It is noted that the equations of motion of a three-layer plate of symmetrical structure supported by stiffening ribs in two mutually perpendicular directions taking into account the action of longitudinal forces in the middle planes of outer layers and ribs, boundary conditions and conditions along ribs are obtained using the Ostrogradsky-Hamilton variational principle. In deriving the equations, it was assumed that the filler is light, and the edges have the same stiffness in one direction and are located at equal distances. The Kirchhoff-Lev hypotheses were accepted for the outer bearing layers, and the linear law of change of tangential displacements in thickness was accepted for the aggregate and edges, and the bending of the edges in the vertical plane was taken into account.

Differential equations of stability of the section of the plate, which is closed between the edge and the edges of the plate, without taking into account the bending stiffness of the outer layers. By means of the boundary transition, the conditions on the sides of the plate and the rib line are obtained in the presence of diaphragms on the bearing edges without taking into account the torsional stiffness of the ribs.

The equation of stability of a three-layer plate of symmetrical structure with a light transversely isotropic filler, supported by one longitudinal stiffening rib, is obtained. Equations are obtained to determine the stiffness parameter and the critical force parameter. The forms of loss of stability of the specified plate are analyzed.

Key words: *three-layer plate, lightweight aggregate, rigidity, stability, rigidity of the plate, rigidity of the ribs, shear parameter, rigidity parameter, stability equation of a three-layer plate, boundary conditions.*

Постановка проблеми. Останнім часом шарові конструкції, а саме тришарові пластини, знаходять широке застосування в таких наукоємних галузях, як промислове та цивільне будівництво, літакобудування, суднобудування тощо. Проблема стійкості тришарових конструкцій висувається на перший план, оскільки з метою економії маси вони виконуються таким чином, що зовнішні обшивки є тонкими, а серединний шар є легким. Тришарові пластини за порівняно невеликої ваги володіють високими характеристиками міцності та жорсткості та в разі належного вибору параметрів вони можуть сприймати значні навантаження. Однак великий вплив поперечних деформацій зсуву заповнювача на роботу зовнішніх шарів може спричинити втрату стійкості конструкції в цілому, тому доцільно підкріплювати тришарові пластини ребрами жорсткості [1].

Дослідженням стійкості непідкріплених тришарових пластин присвячене досить багато публікацій [2; 3; 4; 5]. У роботах [6; 7] наведено чисельні методи розрахунку зазначених пластин на стійкість. Розрахункам на стійкість підкріплених тришарових пластин присвячено незначну кількість праць [8; 9; 10], і ці дослідження не носять систематичного характеру. Тому пошук нових методів розв'язання задач на стійкість підкріплених тришарових пластин, які дозволять отримати найбільш точні розрахункові параметри, є актуальною задачею.

У статті розглядається пружна стійкість тришарової пластини з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, що підкріплена одним поздовжнім ребром жорсткості (рис. 1).

Метою дослідження є отримання рівняння стійкості тришарової пластини симетричної будови з легким трансверсально-ізотропним заповнювачем, що підкріплена одним поздовжнім ребром жорсткості з урахуванням дії поздовжніх сил у серединних площинах зовнішніх шарів та в ребрі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час побудови розрахункової моделі тришарової пластини, підкріпленої ребрами в повздовжньому та поперечному напрямках, використовувався варіаційний принцип Остроградського – Гамільтона та були прийняті такі гіпотези: для зовнішніх несучих шарів – гіпотези Кірхгофа – Лява, а для заповнювача і ребр – лінійний закон зміни тангенціальних переміщень за товщиною та враховувався згин ребер у вертикальній площині [11, с. 126–130]. Отримано диференціальні рівняння стійкості ділянки пластинки, яка замкнена між ребрами або між ребрами та краями пластинки з урахуванням дії сил у серединних площинах зовнішніх шарів [11, с. 135].

Також установлено граничні умови ділянки оболонки, замкненої між ребрами. За допомогою граничного переходу отримано умови по лініях ребер з урахуванням і без урахування деформацій зсуву в ребрах, але без урахування крутильної жорсткості ребер [11, с. 139].

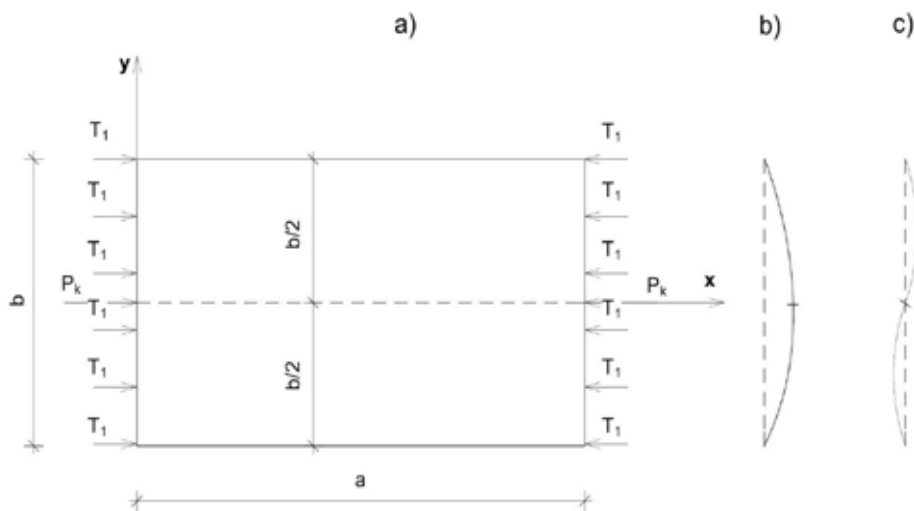


Рис. 1. Схема тришарової пластинки з легким заповнювачем, яка підкріплена одним повздовжнім ребром жорсткості

Виклад основного матеріалу дослідження. Отримаємо вирішення задачі стійкості без урахування згинальної жорсткості зовнішніх шарів, вважаючи $D = 0$. Ураховуючи $\omega = D = T_2 = 0$, отримаємо систему диференціальних рівнянь у вигляді

$$\begin{aligned}
 U_{\beta} - H \frac{\partial W}{\partial x} &= \frac{Bh}{G_3} \left(\frac{\partial^2 U_{\beta}}{\partial x^2} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 U_{\beta}}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 V_{\beta}}{\partial x \partial y} \right); \\
 V_{\beta} - H \frac{\partial W}{\partial y} &= \frac{Bh}{G_3} \left(\frac{\partial^2 V_{\beta}}{\partial y^2} + \frac{1-\mu}{2} \frac{\partial^2 V_{\beta}}{\partial x^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 U_{\beta}}{\partial x \partial y} \right); \\
 -2BH\nabla^2 \left(\frac{\partial U_{\beta}}{\partial x} + \frac{\partial V_{\beta}}{\partial y} \right) + 2T_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Граничні умови по боках пластинки (рис. 1а) за наявності на опорних кромках діафрагм мають вигляд:

$$(W)_{x=0,a} = \left(\frac{\partial U_\beta}{\partial x} + \mu \frac{\partial V_\beta}{\partial y} \right)_{x=0,a} = (V_\beta)_{x=0,a} = 0, \quad (2)$$

$$(W)_{y=\pm b/2} = \left(\frac{\partial V_\beta}{\partial y} + \mu \frac{\partial U_\beta}{\partial x} \right)_{y=\pm b/2} = (U_\beta)_{y=\pm b/2} = 0.$$

Приймаючи до уваги, що

$$\left(\frac{\partial V_\beta}{\partial x} \right)_{y=+0} = \left(\frac{\partial V_\beta}{\partial x} \right)_{y=-0}, \quad \left(\frac{\partial^2 V_\beta}{\partial x^2} \right)_{y=+0} = \left(\frac{\partial^2 V_\beta}{\partial x^2} \right)_{y=-0}$$

та враховуючи (1), умови по лінії ребра набувають вигляду

$$\left(\frac{\partial V_\beta}{\partial y} + \mu \frac{\partial U_\beta}{\partial x} \right)_{y=+0} = \left(\frac{\partial V_\beta}{\partial x} + \mu \frac{\partial U_\beta}{\partial y} \right)_{y=-0} \quad (3)$$

$$\left[\frac{2G_p b_p}{h} \left(U_\beta - H \frac{\partial W}{\partial x} \right) - \frac{2E_p b_p h}{3} \left(\frac{\partial^2 U_\beta}{\partial x^2} - \frac{\delta}{2} \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \right) \right]_{y=0} - B(1-\mu) \frac{\partial U_\beta}{\partial y} \Big|_{y=-0}^{y=+0} = 0, \quad (4)$$

$$\left[\frac{2G_p b_p H}{h} \left(\frac{\partial U_\beta}{\partial x} - H \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) - \frac{E_p b_p h \delta}{3} \left(\frac{\partial^2 U_\beta}{\partial x^2} - \frac{\delta}{2} \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} \right) + P_k \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right]_{y=0} +$$

$$+ 2BH \left(\frac{\partial^2 V_\beta}{\partial y^2} + \frac{1+\mu}{2} \frac{\partial^2 U_\beta}{\partial x \partial y} \right) \Big|_{y=-0}^{y=+0} = 0. \quad (5)$$

Крім цього, для переміщень вище та нижче ребра маємо

$$(W)_{y=+0} = (W)_{y=-0}, \quad (U_\beta)_{y=+0} = (U_\beta)_{y=-0}, \quad (V_\beta)_{y=+0} = (V_\beta)_{y=-0} \quad (6)$$

У рівняннях (1–6) позначено:

$$B = \frac{E\delta}{(1-\mu^2)}; \quad D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}; \quad H = h + 0,5\delta; \quad u_\beta = 0,5(u_1 - u_2); \quad v_\beta = 0,5(v_1 - v_2);$$

$\delta, 2h$ – товщина зовнішніх шарів та заповнювача; G_3 – модуль зсуву заповнювача; E, μ – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона зовнішніх шарів; u_1, v_1, u_2, v_2 – тангенціальні переміщення серединних площин верхнього та нижнього шарів; w – прогин оболонки.

Вирішення задачі для нижньої частини пластини шукаємо у вигляді

$$W^I = f(y) \sin \frac{\pi n}{a} x, \quad U_\beta^I = f_1(y) \cos \frac{\pi n}{a} x, \quad V_\beta^I = f_2(y) \sin \frac{\pi n}{a} x, \quad (n=1,2,3...), \quad (7)$$

що задовольняє граничним умовам (2) по кромках $x=0, a$.

Вносячи (7) в (1), отримаємо систему диференціальних рівнянь для визначення функцій f, f_1, f_2 .

$$W^I = \frac{b}{H\pi} \sum_{i=1}^r \frac{1+k_0 \left(\frac{n^2}{\alpha^2} - \beta_i^2 \right)}{\beta_i} \left(A_i \cosh \frac{\pi \beta_i}{b} y + C_i \sinh \frac{\pi \beta_i}{b} y \right) \sin \frac{\pi n}{a} x,$$

$$V_{\beta}^I = \sum_{i=1}^r \left(A_i \sinh \frac{\pi \beta_i}{b} y + C_i \cosh \frac{\pi \beta_i}{b} y \right) \sin \frac{\pi n}{a} x, \quad (8)$$

$$U = \left[\sum \frac{1}{\alpha \beta} \left(A_i \cosh \frac{\pi \beta_i}{b} y + C_i \sinh \frac{\pi \beta_i}{b} y \right) + \right. \\ \left. + \frac{\beta_3 \alpha}{\beta_3} \left(A_i \cosh \frac{\pi \beta_3}{b} y + C_i \sinh \frac{\pi \beta_3}{b} y \right) \right] \cos \frac{\pi}{a} x.$$

У (8) позначено:

$$\beta_{1,2} = \frac{n}{\alpha} \sqrt{1 - \frac{k_0 m_t}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{k_0 m_t}{2} \right)^2 + m_t \left(\frac{\alpha}{n} \right)^2}}, \quad \beta_3 = \sqrt{\frac{2}{(1-\mu)k_0} + \left(\frac{n}{\alpha} \right)^2}, \\ k_0 = \frac{\pi^2 B h}{G_3 b^2}, \quad m_t = \frac{2 T_1 b^2}{\pi^2 D^*}, \quad D^* = 2 B H^2, \quad \alpha = \frac{a}{b}. \quad (9)$$

Для верхньої частини пластини рішення має вигляд, аналогічний (8).

Підпорядковуючи рішення для нижньої і верхньої частини пластини граничним умовам (2), (4), (5), (6), отримаємо систему однорідних рівнянь відносно довільних постійних A_i, C_i, A'_i, C'_i (A'_i, C'_i відносяться до верхньої частини пластинки). Прирівнюючи до нуля визначник, складений з коефіцієнтів за A_i, C_i, A'_i, C'_i , отримаємо

$$\frac{\operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_1}{2}}{\beta_1} \left[\frac{r_1 r_{12}}{k_0} + \frac{\operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_2}{2}}{\beta_2} (r_1 r_6 - r_2 r_5) - \frac{2 r_4 r_5 r_{10} \alpha^2}{n^2} + \right. \\ \left. + \frac{\beta_3 \alpha^2 (r_3 r_5 - r_1 r_7) \operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_3}{2}}{n^2} \right] - \frac{\operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_2}{2}}{\beta_2} \left[\frac{r_2 r_{11}}{k_0} - \frac{2 r_1 r_6 r_{10} \alpha^2}{n^2} - \right. \\ \left. - \frac{\beta_3 \alpha^2 (r_2 r_7 - r_3 r_6) \operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_3}{2}}{n^2} \right] - \frac{\alpha^2 (\beta_1^2 - \beta_2^2)}{n^2} \left(r_3 \beta_3 \operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_3}{2} - 2 r_4 r_{10} \right) = 0. \quad (10)$$

У (10) позначено:

$$r_3 = 1 + \frac{E_p h^2 n^2 \pi^2}{3 G_p a^2}, \quad r_3 = 1 + \frac{E_p h^2 n^2 \pi^2}{3 G_p a^2}, \quad r_4 = \frac{\pi B h (1-\mu)}{2 G_p b_p b}, \\ r_{5,6} = \frac{G_p b_p H^2 n^2 b r_{8,9}}{\pi D^* h a^2} - \frac{E_p b_p h^2 \delta \pi n^4}{6 B D^* \alpha^4} \left(1 + \frac{\delta r_{8,9}}{2 h} \right) - \frac{\pi n^2}{2 \alpha^2} \delta_t m_t r_{11,12}, \\ r_7 = \frac{G_p b_p H^2 n^2 b}{\pi D^* h a^2} - \frac{\pi E_p b_p h \delta H n^4}{6 D^* b \alpha^4}, \quad r_{8,9,10} = \left(\frac{n^2}{\alpha^2} - \beta_{1,2,3}^2 \right), \quad r_{11,12} = 1 + r_{8,9}, \\ \delta_t = \frac{E_p F_p}{2 E \delta b}. \quad (11)$$

Якщо не враховувати зсув у ребрі, вважаючи $G_p = \infty$, з (10), отримаємо

$$\frac{r_1}{\beta_1} \left[-\frac{r_7 r_8}{k_0} + \frac{r_4 r_2}{\beta_2} (\beta_1^2 - \beta_2^2) + \frac{\beta_3 \alpha^2}{n^2} r_5 r_3 \right] + \frac{r_3}{\beta_2} \left[\frac{r_1 r_8}{k_0} + \frac{\beta_1 \alpha^2}{n_2} r_6 r_3 \right] - \frac{\beta_3 \alpha^2 r_1}{n^2} (\beta_1^2 - \beta_2^2) = 0, \quad (12)$$

У (12) позначено:

$$r_{1,2,3} = \operatorname{tgh} \frac{\pi \beta_{1,2,3}}{2}, \quad r_4 = \frac{\pi n^2}{2 \alpha^2} \left(\frac{n^2}{\alpha^2} \gamma - \delta_t m_t \right), \quad r_{5,6} = r_4 (1 + r_{7,8}),$$

$$r_{7,8} = k_0 \left(\frac{n^2}{\alpha^2} - \beta_{1,2}^2 \right), \quad \gamma = \frac{D_k}{b D^*}. \quad (13)$$

Тут D_k – згинальна жорсткість ребра.

Визначаємо значення параметра γ з рівняння стійкості (12). Вирішуючи рівняння стійкості (12) відносно γ , матимемо

$$\gamma = \frac{\frac{r_1 r_8}{k_0 \left(\frac{r_1}{\beta_1} - \frac{r_2}{\beta_2} \right)} + \frac{\beta_3 \alpha^2 (\beta_1^2 - \beta_2^2) r_3}{n^2}}{\frac{\pi n^4}{2 \alpha^4} \left[\frac{\beta_3 \alpha^2 r_3}{n^2 \left(\frac{1+r_7}{\beta_1} r_1 - \frac{1+r_8}{\beta_2} r_2 \right) + \frac{k_0 (\beta_1^2 - \beta_2^2) r_1 r_2}{\beta_1 \beta_2}} \right]} + \frac{\alpha^2}{n^2} \delta_t m_t. \quad (14)$$

Якщо задатися критичним напруженням m_t для пластини, з (14) можна визначити відповідне йому значення γ , а по ньому, відповідно до (13), знайти необхідний момент інерції ребра, що підкріплює. При цьому критичне напруження m_t не повинно перевищувати критичне напруження шарнірно опертої пластинки шириною $a/2$. Якщо ж критичне напруження підкріпленої пластинки стає рівним критичному напруженню шарнірно опертої пластинки шириною $a/2$ і з параметром k_0 (9) в чотири рази більшим, то, як зазначалося вище, отримаємо критичне значення параметра $\gamma = \gamma_0$. За визначення $\gamma = \gamma_0$ зі (14) значення m_t , що входить в (14), та параметри β_1 і β_2 (9) слід визначати за рівнянням

$$m_t = \frac{4 \left(\frac{n_1}{2\alpha} + \frac{2\alpha}{n_1} \right)^2}{1 + 4k_0 \left[\left(\frac{n_1}{2\alpha} \right)^2 + 1 \right]} \left\{ s \left[1 + 4k_0 \left(\left(\frac{n_1}{2\alpha} \right)^2 + 1 \right) \right] + 1 \right\}. \quad (15)$$

$$\text{Тут } n_1 = 1, 2, 3, \dots, \quad s = \frac{\left(\frac{\delta}{H} \right)^2}{12}, \quad \alpha = \frac{a}{b}.$$

Оскільки характеристики жорсткості ребра і пластинки приймаються одного порядку, то деформації зсуву ребра прямокутного перетину надають малий вплив на величину критичної сили, й ними можна знехтувати.

Висновки і пропозиції. Внаслідок того, що пластинка з ребром є системою, симетричною відносно осі X , випинання пластинки буде або симетричним, або антисиметричним, за якого ребро жорсткості залишається прямим (рис. 1 в, с).

В останньому випадку вузлова лінія випучування пластинки збігається з віссю ребра, і кожна половина пластинки поводить як вільно оперта пластинка довжиною a і шириною $b/2$. У цьому випадку критичне навантаження пластинки з ребром сягає свого максимального значення.

Антисиметрична форма втрати стійкості (рис. 1с) має місце в разі, коли відношення згинальних жорсткостей більше деякого значення γ_0 , яке будемо називати критичним.

У разі збільшення $\gamma > \gamma_0$ ми вже не будемо отримувати збільшення критичного навантаження для пластинки (воно буде залишатися постійним і рівним критичному навантаженню вільно опертої пластинки шириною $b/2$).

Симетрична форма втрати стійкості (рис. 2 в), за якої ребро жорсткості згинається разом із пластинкою, має місце за $\gamma = \gamma_0$. За $\gamma = \gamma_0$ можливі обидві форми втрати стійкості.

Отже, дослідження можна обмежити розглядом лише симетричної форми втрати стійкості й визначенням критичного значення $\gamma = \gamma_0$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Stability Analysis of a Three-Layer Shell with Lightweight Filler Supported By Rigidity Ribs. *IJSET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* / M. Surianinov et al. Vol. 7. Issue 12. P. 462–469.
2. Александров А.Я., Куршин Л.И. Многослойные пластинки и оболочки. *Труды VII Всесоюзной конференции оболочек по теории оболочек и пластинок, Днепропетровск, 1969 г.* Москва : Наука, 1970. С. 714–721.
3. Григолюк Э.И., Кассихин В.Н. Осесимметричные свободные колебания круговых трехслойных пластин. *Некоторые прикладные задачи теории пластин и оболочек: сборник научных трудов* / под ред. Э.И. Григолюка. 1981. С. 185–195.
4. Прусаков А.П. Некоторые задачи изгиба круглых трехслойных пластин с легким наполнителем. *Труды конференции по теории пластин и оболочек, Казань, 1961 г.* Казань : Казанский гос. ун-т, 1961. С. 293–297.
5. Chun-Sheng Chen. Investigation on the Vibration and Stability of Hybrid Composite Plates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2005. 24 (16). 1747–1758.
6. Алфутов Н.А., Трофимов В.В. Энергетический метод расчета оболочек на устойчивость, не требующий определения начального напряженного состояния. *Труды VII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластинок, Днепропетровск, 1969 г.* Москва : Наука, 1970. С. 52–57.
7. Новые методы расчета систем с дискретно-непрерывным распределением параметров / В.С. Дорофеев и др. ; под ред. Н.Г. Сурьянинова. Одесса : ЭВЕН, 2012. 374 с.
8. Al-Qablan H. Semi-analytical Buckling Analysis of Stiffened Sandwich Plates. *Journal of Applied Sciences*. 2010. 10: 2978–2988.
9. Patel S.N., Sheikh A.H. Buckling response of laminated composite stiffened plates subjected to partial in-plane edge loading. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*. 2016. 17: 5–6. 322–338.
10. Александров А.Я., Бородин М.Я. Конструкция с наполнителями из пенопластов. Москва : Оборонгиз, 1962. 212 с.
11. Yemelianova T.A., Kirichenko V.L. Differential equations of stability and free oscillations of a three-layer plate supported by rigidity ribs. Perspective trajectory of

scientific research in technical sciences : Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". P. 132–154.

12. Емельянова Т.А. Устойчивость трехслойной пологой оболочки с легким заполнителем, подкрепленной продольными ребрами жесткости. *Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике* : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 2001 г. Минск : УП «Технопринт», 2001. С. 193–197.

REFERENCES:

1. Mykola Surianinov, Tetiana Yemelianova, Dina Lazarieva, Anastasiia Bazhanova (2020) Stability Analysis of a Three-Layer Shell with Lightweight Filler Supported By Rigidity Ribs. *IJISSET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 7. Issue 12. pp. 462-469. [in English]

2. Aleksandrov A.YA., Kurshin L.I. (1970) Mnogosloynnye plastinki i obolochki. *Trudy VII Vsesoyuznoy konferentsii obolochek po teorii obolochek i plastinok*, Dnepropetrovsk, 1969 g. Moskva: Nauka. S. 714–721. [in Russian].

3. Grigolyuk E.I., Kassikhin V.N. (1981) Osesimmetrichnyye svobodnyye kolebaniya krugovykh trekhsloynnykh plastin. *Nekotoryye prikladnyye zadachi teorii plastin i obolochek: sbornik nauchnykh trudov* / pod red. E.I. Grigolyuka. С. 185–195. [in Russian].

4. Prusakov A.P. (1961) Nekotoryye zadachi izgiba kruglykh trekhsloynnykh plastin s legkim zapolnitelem. *Trudy konferentsii po teorii plastin i obolochek*, Kazan', 1961 g. Kazan': Kazanskiy gos. un-t. S. 293–297. [in Russian].

5. Chun-Sheng Chen. (2005) Investigation on the Vibration and Stability of Hybrid Composite Plates. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 24(16). 1747-1758. [in English]

6. Alfutov N.A., Trofimov V.V. (1970) Energeticheskiy metod rascheta obolochek na ustoychivost', ne trebuyushchiy opredeleniya nachal'nogo napryazhennogo sostoyaniya. *Trudy VII Vsesoyuznoy konferentsii po teorii obolochek i plastinok*, Dnepropetrovsk, 1969 g. Moskva: Nauka. S. 52–57. [in Russian].

7. Dorofeyev V.S., Kovrov A.V., Krutiy YU.S., Orobey V.F., Sur'yaninov N.G., Tatsiy R.M., Ushak T.I. (2012) Novyye metody rascheta sistem s diskretno-nepreryvnym raspredeleniyem parametrov / Pod red. N.G. Sur'yaninova. Odessa: EVEN. 374 s. [in Ukrainian].

8. H. Al-Qablan. (2010) Semi-analytical Buckling Analysis of Stiffened Sandwich Plates. *Journal of Applied Sciences*, 10: 2978-2988. [in English]

9. S. N. Patel & A. H. Sheikh (2016) Buckling response of laminated composite stiffened plates subjected to partial in-plane edge loading. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*. 17:5-6. 322-338. [in English]

10. Aleksandrov A.YA., Borodin M.YA. (1962) Konstruktsiya s zapolnitelyami iz penoplastov. Moskva: Oborongiz. 212 s. [in Russian].

11. Yemelianova T. A., Kirichenko V. L. (2021) Differential equations of stability and free oscillations of a three-layer plate supported by rigidity ribs. Perspective trajectory of scientific research in technical sciences: Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". P.132-154. [in Ukrainian]

12. Yemel'yanova T.A.(2001) Ustoychivost' trekhsloynnoy pologoy obolochki s legkim zapolnitelem, podkreplennoy prodol'nymi rebrami zhestkosti. Aktual'nyye problemy dinamiki i prochnosti v teoreticheskoy i prikladnoy mekhanike: materialy Mezhdunarodnoy nauchno–tekhnicheskoy konferentsii, Minsk, 2001 g. Minsk: UP «Tekhnoprint». S. 193–197. [in Russian].

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Антоненко А.В.	55	Кузьмич Л.В.	98
Бровенко Т.В.	55	Лумпова Т.І.	29
Василенко О.В.	55	Маринич І.А.	38
Восвода Н.В.	66	Морозов В.В.	106
Волошин М.М.	98	Морозов О.В.	106
Горач О.О.	79	Пугачов О.П.	29
Гоу Вангванг	87	Радченко В.С.	66
Дзюндзя О.В.	72	Резвих Н.І.	79
Димова Г.О.	3	Самілик М.М.	87
Євдокімов В.А.	10	Сердюк О.Ю.	38
Ємел'янова Т.А.	133	Толок Г.А.	55
Заболотний О.В.	29	Фролова Л.А.	116
Земліна Ю.В.	55	Фуртат І.Е.	47
Іванів М.О.	106	Фуртат Ю.О.	47
Козак Є.Б.	19	Чеканович М.Г.	124
Козленко Є.В.	106	Шинкарук М.В.	72
Криворучко М.Ю.	55	Шунькін І.С.	116
Кузьмич А.А.	98	Янін О.Є.	124

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ..... 3**

Димова Г.О. Знаходження оптимальних значень функцій
із застосуванням методу спряжених градієнтів 3

Євдокімов В.А. Інформаційно-моделююча система аналізу
процесу ціноутворення на ринку електричної енергії..... 10

Козак Є.Б. Принципи впровадження моделей машинного навчання
у сфері інтелектуального обслуговування промислового обладнання 19

Лумпова Т.І., Заболотний О.В., Пугачов О.П. Підходи до створення
класифікатора економічних показників у інформаційних системах..... 29

Сердюк О.Ю., Маринич І.А. Система візуалізації роботи
пилословлюючої установки з контролем її основних технологічних параметрів
в умовах цементного виробництва 38

Фуртат І.Е., Фуртат Ю.О. Метод моделювання руху температурного фронту
за неізотермічної фільтрації..... 47

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ..... 55

**Антоненко А.В., Бровенко Т.В., Василенко О.В., Земліна Ю.В.,
Криворучко М.Ю., Толлок Г.А.** Розроблення технології печива
з підвищеною харчовою цінністю 55

Восвода Н.В., Радченко В.С. Оцінка показників ікри оздоровчого спрямування
з гарбузу за результатами заміни технологічного процесу 66

Дзюндзя О.В., Шинкарук М.В. Вплив овочевих порошків
на якість макаронних виробів 72

Резвих Н.І., Горач О.О. Насіння ненаркотичних конопель –
сировина для харчової промисловості 79

Samilyk M.M., Guo Wangwang. Method of obtaining food concentrate
from fish meat 87

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО,**ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ 98**

Кузьмич А.А., Волошин М.М., Кузьмич Л.В. Аналіз сучасного стану
водних та земельних ресурсів басейну річки Цир..... 98

Морозов О.В., Іванів М.О., Морозов В.В., Козленко Є.В.
Теоретико-методологічні засади формування експертних систем ефективності
зрошення і горизонтального дренажу 106

Фролова Л.А., Шунькін І.С. Характеристика глинистих порід
Полозького родовища 116

Чеканович М.Г., Янін О.Є. Проектування решітчастої позацентрово стиснутої
сталевої колони за допомогою комп'ютерної програми 124

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ..... 133

Ємел'янова Т.А. Дослідження стійкості шарнірно опертої
тришарової пластинки, що підкріплена одним ребром жорсткості 133

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY	3
Dymova H.O. Finding the optimal values of functions using the conjugate gradient method	3
Evdokimov V.A. Information and modeling system for analysis of the pricing process in the electricity market.....	10
Cozac Eu.B. Principles of introduction of machine learning models in the field of intellectual maintenance of industrial equipment.....	19
Lumpova T.I., Zabolotnyi V.O., Puhachov O.P. Approaches to creating the classifier of economic indicators in information systems	29
Serdiuk O.Y., Marynych I.A. Visualization system of dust collection equipment operation with control of its main technological parameters in conditions of cement production.....	38
Furtat I.E., Furtat Yu.O. Method of simulation of temperature front movement during non-isothermal filtration	47
FOOD TECHNOLOGY	55
Antonenko A.V., Brovenko T.V., Vasylenko O.V., Zemlina Yu.V., Kryvoruchko M.Yu., Tolok G.A. Development of technology of cookies with high nutritional value	55
Voievoda N.V., Radchenko V.S. Evaluation of caviar indicators from pumpkin for health direction according to the results of the replacement of the technological process.....	66
Dzyundzya O.V., Shinkaruk M.V. Influence of vegetable powder on the quality of pasta	72
Rezvykh N.I., Gorach O.O. Non-drug hemp seeds as materials for the food industry	79
Samilyk M.M., Guo Wangwang. Method of obtaining food concentrate from fish meat	87
HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES	98
Kuzmych A.A., Voloshin M.M., Kuzmych L.V. Analysis of the current condition of water and land resources of the Tsyr River Basin	98
Morozov O.V., Ivaniv M.O., Morozov V.V., Kozlenko Y.V. Theoretical and methodological bases of formation of expert systems of efficiency of irrigation and horizontal drainage.....	106
Frolova L.A., Shunkin I.S. Characteristics of clay rocks of the Polozhsk's deposit	116
Chekanovych M.H., Yanin O.Y. Designing a lattice eccentrically compressed steel column using computer software.....	124
CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING	133
Yemelianova T.A. Investigation of a three-layered hinge-supported plate supported by one longitudinal rib of rigidity	133

Таврійський науковий вісник

Випуск 3

Технічні науки

Підписано до друку 01.09.2021 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 11,70.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
Телефони: +38 (0552) 39-95-80, +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.