

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

2 (139) 2022

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
- МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (139). - Дніпро, 2022. – 193с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

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

Архипов О.Є. - д.т.н., проф.

Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.

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

Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Математичне моделювання складних систем

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

Гуда А.І. - д.т.н., проф.

Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.

Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем

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

Гожий О.П. - д.т.н., проф.

Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.

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

Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології обробки інформації

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

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»
кафедра Інформаційних технологій та систем.

Тел. +38(097)6854525

E-mail: st@nmetau.edu.ua

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

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

Я.В. Іванчук, Ю.В. Горобець, К.О. Коваль

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ СТЕПЕНЮ ЗАХИСТУ ШИФРУВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ЗА СТАЛОЮ СКЛАДОВОЮ ПО ЧАСУ

Анотація. У статті розглянуто ураженість криптосистем типу DSA та ECDSA до атаки на основі аналізу змінної часу підписання повідомлення. Розроблена математична модель для перевірки даного типу ураженості, на основі решіткових атак. Показано, що при наявності достатньої кількості сигнатур з однаковим часом підписання можна ідентифікувати наявність загальних бітів ефемерних ключів, що дозволить відновити приватний ключ відправника. Визначено, що причиною ураженості є відсутність виконання операції обчислення оберненого модуля змінного по часу, що надає дані ефемерного ключа зловмиснику. Для вирішення поставленої задачі запропоновано розширений евклідовий алгоритм обчислення оберненого модуля за сталий час.

Ключові слова: тимчасова атака, решітка, зворотний модуль, постійний час, алгоритм, криптосистема.

Постановка проблеми. Криптосистема – це реалізація криптографічних методів та їх інфраструктури для надання послуг інформаційної безпеки [1]. Криптосистеми перетворюють вихідні дані в нечитабельну форму, використовуючи ключі шифрування і розшифрування, що у свою чергу дозволяє забезпечувати конфіденційність інформації. В основі будь-якої системи шифрування є наявність інформації обміну даними про відкритий текст тільки у відправника й отримувача.

У залежності від способу шифрування та дешифрування інформації, криптосистеми поділяються на два типи [1]:

1) Симетрична система шифрування базується на використанні однотипного ключа, інформація про використання якого узгоджується сторонами до початку сесії обміну даними. Прикладами даного типу систем шифрування є: DES, Triple-DES, BLOWFISH, IDEA, AES [2]. Основним недоліком даного типу системи шифрування є наявність складності керування ключами у великих мережах.

2) Асиметрична система шифрування (метод доступу на основі відкритого ключа) відкритого тексту використовує різні типи ключів, які пов'язані між со-

бою певною математичною залежністю. Даній підхід дозволяє отримати оригінал відкритого тексту шляхом використання обернених функцій математичних операцій. Основними представниками даного типу систем шифрування є DSA, DSS, RSA, ECDSA, El-Gamal [3]. Основними недоліками даного типу системи шифрування є наявність інформації про відкритий ключ відправника і отримувача при створенні зашифрованого повідомлення; рівень безпеки систем шифрування пропорційний рівню складності виконання операцій на основі різних математичних задач.

Для деяких систем шифрування, використовується додатковий ключ (ефемерний ключ), який потрібен для додавання більшої складності в алгоритм шифрування, основною вимогою до нього, ефемерний ключ повинен використовуватися тільки один раз.

Для систем шифрування DSA, ElGamal, ECDSA – при створенні зашифрованих повідомлень додатково використовується ефемерний ключ, що у свою чергу призводить до атаки стороннього каналу мережі, аналізу часу створення сигнатури, скидання та перезавантаження даних ефемерного ключа [4], атак на генератори псевдорандомних чисел [5]. Усі ці типи криптоатаки призводять до перехоплення окремих бітів даних ефемерного ключа або отримання часу створення сигнатури, що надає третій стороні доступ до зашифрованих повідомлень, а це у свою чергу призводить до компрометації приватного ключа відправника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статтях [7, 8] показано криптоатаку на систему шифрування типу DSA, у якій за допомогою методів вирішення задач з теорії чисел, а саме проблему прихованих чисел, для розв'язання якої використовується метод коротких векторів або метод близьких векторів, можна знайти приватний ключ відправника, зібравши з n -кількості зашифрованих повідомлень числове значення менш або/і більш значущих бітів ефемерного ключа, використовуючи криптоатаки на кеш процесора, але дана криптоатака не є можливою, якщо числове значення цих бітів, є невідомим.

Автор праці [8] розглядає підхід для запобіганням криптоатакам по побічним каналам обміну даними у якому використовується технологія криптооперацій TPM [8]. Недоліком такого підходу є його не універсальність із-за апаратної реалізації, що знижує загальний рівень криптостійкості до зовнішніх несанкціонованих втручань. Тому, актуальним є підвищення рівня стійкості криптосистем до аналізу часу створення зашифрованого повідомлення, що дозво-

лить підвищити загальний рівень безпеки шифрування даних при обміні інформацією.

Мета дослідження. Підвищення степеню захисту шифрування даних в мережах обміну повідомлень на основі розробленого ефективного алгоритму створення сигнатури підпису.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: визначити тип враженості криптосистем на основі аналізу часу підписання повідомлення, а також розробити ефективний метод захисту криптосистем до атак за часом підписання повідомлення, що дозволить уникнути несанкціонованого доступу до зашифрованої інформації.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для ідентифікації можливого потенційно небезпечного виду криптоатаки на приватний ключ, що базується алгоритмі шифрування DSA (ECDSA), необхідно проаналізувати математичний опис цього алгоритму.

Для використання DSA алгоритму, відправник обирає два простих числа p та q , та g , де p – просте число розміром від 512 до 1024 бітів, з кроком в 64 бітів; q – просте число, яке у відповідності до стандартів Національного інституту стандартів та технологій (NIST) [9] розміру не менше 160 бітів, і відповідає рівності $2^{N-1} < q < 2^N$, у якій $N \in \{160, 224, 256\}$, а також $q \mid p-1$; g – генератор порядку q підгрупи G кінцевого поля \mathbb{F}_p^\times абелевої групи [10]. Далі, відправник вибирає $a \in \{1, \dots, q-1\}$ та обчислює $A = g^a \bmod p$. Публічний ключ відправника це (p, q, g, A) та приватний ключ a . Далі, відправник обирає хеш-функцію $h: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, \dots, q-1\}$, яка відображає повідомлення будь-якої довжини у відповідності до $\{1, \dots, q-1\}$.

Щоб підписати повідомлення m , відправник обирає випадкове число $k \in \{1, \dots, q-1\}$, яке і є ефемерним ключем і обчислює залежності:

$$r = (g^k \bmod p) \bmod q; \quad s = k^{-1}(h(m) + ar) \bmod q. \quad (1)$$

Сигнатура повідомлення m , це пара чисел (r, s) . Сигнатура (1) дійсна тоді і тільки тоді, коли виконується рівність:

$$r = ((g^{s^{-1}h(m) \bmod q} A^{s^{-1}r \bmod q}) \bmod p) \bmod q. \quad (2)$$

Для використання ECDSA алгоритму, відправник обирає еліптичну криву E на кінцевому полі \mathbb{F}_p , точка $P \in E(\mathbb{F}_p)$ (відповідно до DSA це генератор) з простим порядком q розміром як мінімум 160 бітів. Відповідно відповідності до FIPS 186-3 бінарна довжина простого числа p має бути в множині

$\{160, 224, 256, 512\}$. Крім того, для деякого випадкового вибраного $a \in \{1, \dots, q-1\}$ обчислюється $Q = aP$. Публічний ключ відправника це (E, p, q, P, Q) і приватний ключ a . Також, відправник обирає хеш функцію $h: \{0, 1\}^* \rightarrow \{0, \dots, q-1\}$. Щоб підписати повідомлення m , відправник обирає випадкове число $k \in \{1, \dots, q-1\}$, яке і є ефемерним ключем і обчислює $kP = (x, y)$ (де x та y розглядаються як цілі числа у діапазоні $\{0, \dots, p-1\}$). Далі, обчислюється сигнатура повідомлення m , а саме пара чисел (r, s) :

$$r = x \bmod q; \quad s = k^{-1}(h(m) + ar) \bmod q. \quad (3)$$

Для верифікації повідомлення, отримувач обчислює:

$$u_1 = s^{-1}h(m) \bmod q, \quad u_2 = s^{-1}r \bmod q, \quad u_1P + u_2Q = (x_0, y_0). \quad (4)$$

Сигнатура (3) валідна тоді і тільки тоді, коли $r = x_0 \bmod p$. Безпека цих криптосистем опирається на припущення, щоб єдиний спосіб підробити підпис – це або відновити приватний ключ a , або підробити ефемерний ключ k . Таким чином, параметри цих криптосистем вибрані таким чином, щоб обчислення дискретних логарифмів є обчислювально нездійсненим для груп розміром в 256 бітів.

Для здійснення потенційно-небезпечної криптоатаки зловмисником, що призведе до відкриття приватного ключа відправника, можна записати кількість часу, який необхідний для створення кожної сигнатури, що в залежності від значення ефемерного ключа k , є різним, тобто для ефемерного ключа k , розміром 254 бітів буде меншим чи при сторенні сигнатуром, з ключем в 256 бітів, при цьому буде відомо, що значення більш значущих бітів (MSB) буде рівним нулю. Припустимо, що зловмиснику вдалось зібрати n кількість зашифрованих повідомлень m_i ($i=1, \dots, n$) з відповідними сигнатурами (r_i, s_i) , такими що час створення сигнатури є дуже близькими один між одними, тоді можна припустити, що всі відповідні ефемерні ключі k_i поділяють загальною бітами між більш значущими бітами незалежно від поточної кількості повідомлень i . Таким чином, вони будуть відповідати наступній залежності для всіх $i=1, \dots, n$:

$$k_i = k + 2^t \tilde{k}_i + 2^{t'} k', \quad (5)$$

де $0 \leq k < 2^t, 0 \leq k' < 2^{N-t'}$, $\delta = N - t' + t, 0 \leq k_i < 2^{N-\delta}$, k та k' загальні для всіх k_i .

На рисунку 1 зображена схема розміщення бітів у ефемерному ключі:

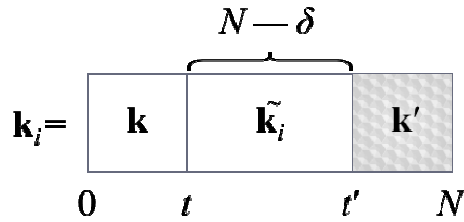


Рисунок 1 – Схема ефемерного ключа:

k – числове значення загальних більш значущих бітів (MSB),
 k' – числове значення загальних менш значущих бітів (LSB), \tilde{k}_i – це числове значення поточних бітів, t – кількість загальних більш значущих бітів,
 t' – кількість загальних менш значущих бітів

Слід зауважити, що значення змінних k_i, k, \tilde{k}_i, k' невідомі. У n -ої кількості рівнянь (4), що визначають підпис:

$$\begin{cases} m_1 + ar_1 - s_1 k_1 \equiv 0 \pmod{q}; \\ m_2 + ar_2 - s_2 k_2 \equiv 0 \pmod{q}; \\ \dots \\ m_n + ar_n - s_n k_n \equiv 0 \pmod{q}, \end{cases} \quad (6)$$

де m_i – це повідомлення, a – це приватний ключ відправника, r_i – числове значення першої частини сигнатури, s_i – числове значення другої частини сигнатури, k_i – ефемерний ключ, i -індекс повідомлення.

Якщо в системі рівнянь (6) замінити параметри m_i, r_i, s_i на значення (5) і виключити загальні змінні k та k' , тоді отримаємо:

$$\begin{cases} (s_1^{-1} m_1 - s_2^{-1} m_2) + a(s_1^{-1} r_1 - s_2^{-1} r_2) - 2^t (\tilde{k}_1 - \tilde{k}_2) \equiv 0 \pmod{q}; \\ (s_1^{-1} m_1 - s_3^{-1} m_3) + a(s_1^{-1} r_1 - s_3^{-1} r_3) - 2^t (\tilde{k}_1 - \tilde{k}_3) \equiv 0 \pmod{q}; \\ \dots \\ (s_1^{-1} m_1 - s_n^{-1} m_n) + a(s_1^{-1} r_1 - s_n^{-1} r_n) - 2^t (\tilde{k}_1 - \tilde{k}_n) \equiv 0 \pmod{q}. \end{cases} \quad (7)$$

Нехай $\alpha_i, \beta_i, \kappa_i \in Z$ є такими, що:

$$\begin{cases} \alpha_i := 2^{-t} (s_1^{-1} m_1 - s_i^{-1} m_i) \pmod{q}; \\ \beta_i := 2^{-t} (s_1^{-1} r_1 - s_i^{-1} r_i) \pmod{q}; \\ \kappa_i := \tilde{k}_1 - \tilde{k}_i. \end{cases} \quad (8)$$

Тоді, система рівнянь (7) приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} \alpha_2 + a\beta_2 - \kappa_2 \equiv 0 \pmod{q}; \\ \alpha_3 + a\beta_3 - \kappa_3 \equiv 0 \pmod{q}; \\ \alpha_n + a\beta_n - \kappa_n \equiv 0 \pmod{q}, \end{cases} \quad (9)$$

де a, κ_i і α_i, β_i – значення відомих та невідомих аргументів відповідно.

Тоді систему розв’язків можна представити у наступному вигляді:

$$L = \{(x_0, x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{Z}^{n+1} \mid x_0\alpha_i + x_1\beta_i - x_i \equiv 0 \pmod{q}\}, \quad (10)$$

що утворює $(n+1)$ мірну маска-матрицю, натягнуту на вектори-стрічки базисної матриці:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \alpha_2 & \dots & \alpha_n \\ 0 & 1 & \beta_2 & \dots & \beta_n \\ 0 & 0 & q & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & q \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Для знаходження короткого вектору у матриці (11), можуть бути застосовані LLL або BKZ алгоритми. Якщо система рівнянь (7) має розв’язок (визначення значення короткого вектора \bar{v}_0 з елементами $v_0 = (1, a, \kappa_2, \kappa_3, \dots, \kappa_n)$), що і буде тотожним елементом системи розв’язків (10), тоді і буде отримано значення приватного ключа a відправника.

Розроблений підхід порядку отримання доступу до ключів повідомлень доводить, що алгоритм DSA (ECDSA) є вразливим до криптоатак за допомогою аналізу часу підписання повідомлення, у випадку коли ефемерні ключі кожного зашифрованого мають майже однаковий час підписання повідомлення. На рисунку 2 показано залежність між кількістю загальних бітів та кількості необхідних повідомлень до відсотку успіху криптоатаки.

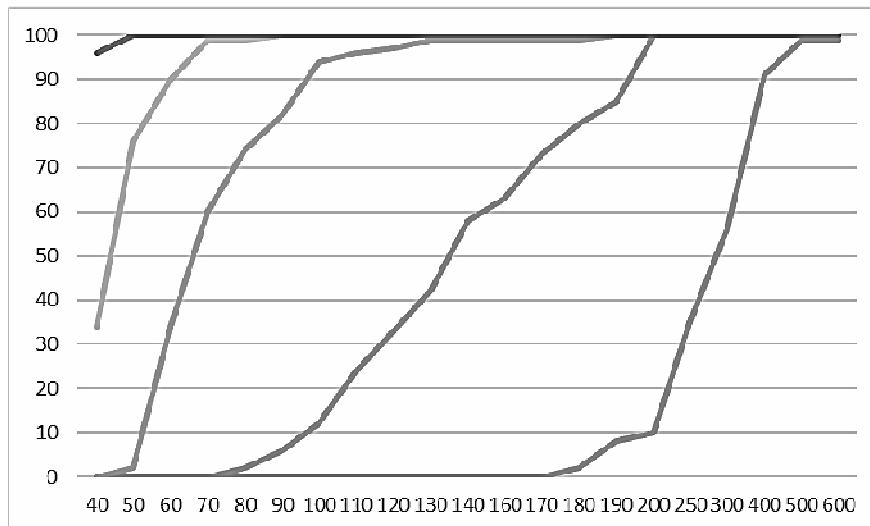


Рисунок 2 – Діаграма залежності між кількістю загальних бітів та кількості необхідних повідомлень до відсотку ймовірності успіху криптоатаки

Також, однією із вразливих точок при створення сигнатур (1) і (3) є розширений алгоритм Евкліда обчислення оберненого модуля у алгоритмі [11].

Час виконання алгоритму [11, 12], залежить від обох значень a і b , а саме кількість ітерацій циклу `while`, а також степені двійки, які потрібно видалити вкінці алгоритму, значно відрізняються для різних вхідних даних. Тому для перетворення алгоритму 2 в алгоритм, що виконується за постійний час для заданого w_n -бітового модуля m , необхідно забезпечити такі вимоги:

1. Одна ітерація завжди обчислюється таку ж кількість часу, це означає обчислити всіх чотирьох гілок із алгоритму 2 і вибір правильних значень за постійний час. Це гарантує, що час виконання однієї ітерації не залежить від взятої гілки, але означає, що час обчислення збільшується до часу обчислення всіх гілок;

2. Алгоритм повинен виконувати однакове число ітерацій (за постійний час), це означає, що необхідно обчислення найгіршого числа $2w_n$ ітерацій. Це можна реалізувати, визначивши коли алгоритм 2 завершується (коли $v=1$). В залежності від цієї умови, створюємо бітову маску і обираємо вхідне значення для цієї ітерації (коли $v=1$), або значення, обчисленні за допомогою ітерації з постійним часом ($v \neq 1$).

Після внесених модифікацій в алгоритм [11], отримаємо новий Алгоритм 1, який буде виконувати обчислення оберненого модуля за сталий час:

Алгоритм 1. Постійно часовий алгоритм оберненого ділення по модулю

Input: $a, b \in \mathbb{Z}_{>0}$ з $\gcd(a, b) = 1, 0 \leq b < a$,

Output: $\left\{ \begin{array}{l} (b^{-1} \cdot 2^k \bmod a, k) \\ [\log_2(a)] \leq k \leq 2[\log_2(a)]. \end{array} \right.$

$u \leftarrow a, v \leftarrow b, r \leftarrow 0, s \leftarrow 1, k \leftarrow 0$

for $i = 1$ **to** $2[\log_2(a)]$ **do**

$uv_{<} \leftarrow sub(u', u, v)$

$uv_{=} \leftarrow equal(u', 0)$

$d \leftarrow 0 - uv_{=} \quad \#d = \begin{cases} 0 & \text{if } u \neq v \\ 2^w - 1 & \text{if } u = v \end{cases}$

$\left. \begin{array}{l} lshift_1(\tilde{s}, s) \\ add(rs, r, s) \\ rshift_1(\tilde{u}, u) \\ \mathbf{m}_1 \leftarrow \mathbf{d} \vee (0 - (\mathbf{u}_0 \wedge 1)) \\ \mathbf{m}_2 \leftarrow bitflip(\mathbf{m}_1) \\ select(u, \tilde{u}, \mathbf{m}_2, u, \mathbf{m}_1) \\ select(s, \tilde{s}, \mathbf{m}_2, s, \mathbf{m}_1) \end{array} \right\} \# \text{if } u \equiv 0$

```

lshift1( $\tilde{r}, r$ )
 $\mathbf{S} \leftarrow (\mathbf{d} \vee \textit{bitflip}(\mathbf{m}_1))$ 
 $\mathbf{m}_3 \leftarrow S \vee 0 - (\mathbf{v}_0 \wedge 1)$ 
 $\mathbf{m}_4 \leftarrow \textit{bitflip}(\mathbf{m}_3)$ 
rshift1( $\tilde{v}, v$ )
select( $v, \tilde{u}, \mathbf{m}_4, v, \mathbf{m}_3$ )
select( $r, \tilde{r}, \mathbf{m}_4, r, \mathbf{m}_3$ )
} # elseif  $v \equiv 0$ 

 $\mathbf{S} \leftarrow \mathbf{S} \vee \textit{bitflip}(\mathbf{m}_3)$ 
 $\mathbf{m}_5 \leftarrow \mathbf{S} \vee (0 - \mathbf{u} \mathbf{v}_<)$ 
 $\mathbf{m}_6 \leftarrow \textit{bitflip}(\mathbf{m}_5)$ 
rshift1( $u', u'$ )
select( $u, u', \mathbf{m}_6, u, \mathbf{m}_5$ )
select( $r, rs, \mathbf{m}_6, r, \mathbf{m}_5$ )
select( $r, \tilde{s}, \mathbf{m}_6, s, \mathbf{m}_5$ )
} # elseif  $u > v$ 

 $\mathbf{S} \leftarrow \mathbf{S} \vee \textit{bitflip}(\mathbf{m}_5)$ 
 $\mathbf{m}_7 \leftarrow \textit{bitflip}(\mathbf{S})$ 
sub( $\tilde{v}, v, u$ )
rshift1( $\tilde{v}, \tilde{v}$ )
select( $v, \tilde{v}, \mathbf{m}_7, v, \mathbf{S}$ )
select( $s, rs, \mathbf{m}_7, s, \mathbf{S}$ )
select( $r, \tilde{r}, \mathbf{m}_7, r, \mathbf{S}$ )
} # else

```

```

 $\mathbf{k} \leftarrow ((\mathbf{k} \wedge \mathbf{d}) \vee ((\mathbf{k} + 1) \wedge \textit{bitflip}(\mathbf{d})))$ 
end for
return ( $s, \mathbf{k}$ )

```

Висновки.

1. Визначено тип враженості криптосистем до атак по побічним каналам на основі часового аналізу створення сигнатур, який заключається у зборі підписаних повідомлень та часу їх підписання. Використовуючи розроблену математичну модель, приватний ключ відправника може бути визначений при наявності достатньої кількості повідомлень менш ніж за хвилину обходячи вирішення задачі дискретного логарифмування, а це у свою чергу повністю компроментує стійкість криптосистеми.

2. Розроблено ефективний метод захисту криптосистем до атак на основі часового аналізу створення зашифрованих повідомлень для запобігання несанкціонованому доступу до зашифрованої інформації, на основі удосконаленого

розширеного алгоритму Евкліда обчислення оберненого модуля ефемерного ключа, що виконується за сталий час, а саме, забезпечує постійне число тактів процесора, при виконанні алгоритму для різного розміру (у бітах) чисел.

3. При використанні не стало часового розширеного алгоритму Евкліда, при обчисленні оберненого модуля числа розміру бітів 256, число тактів буде нерівномірним 50-60. При використанні удосконаленого алгоритму число тактів завжди дорівнює 486, що і забезпечує стійкість до атаки у цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Menezes A. J., Van Oorschot P.C., Vanstone S.A. Handbook of applied cryptography // Handbook of Applied Cryptography. 1996.
2. Ubaidullah M., Makki Q. A Review on Symmetric Key Encryption Techniques in Cryptography // Int. J. Comput. Appl. 2016. Vol. 147, № 10.
3. Elgamal T. A Public Key Cryptosystem and a Signature Scheme Based on Discrete Logarithms // IEEE Trans. Inf. Theory. 1985. Vol. 31, № 4.
4. Liu M., Chen J., Li H. Partially known nonces and fault injection attacks on SM2 signature algorithm // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2014. Vol. 8567.
5. Fouque P.A., Tibouchi M., Zapalowicz J.C. Recovering private keys generated with weak prngs // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2013. Vol. 8308 LNCS.
6. Boneh D., Venkatesan R. Hardness of computing the most significant bits of secret keys in diffie-hellman and related schemes // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 1996. Vol. 1109.
7. Howgrave-Graham N.A., Smart N.P. Lattice Attacks on Digital Signature Schemes // Des. Codes, Cryptogr. 2001. Vol. 23, № 3.
8. Moghimi D. et al. TPM-FAIL: TPM meets timing and lattice attacks // Proceedings of the 29th USENIX Security Symposium. 2020.
9. Gallagher P.D., Romine C. FIPS PUB 186-4 Digital Signature Standard (DSS) // Encycl. Cryptogr. Secur. 2013. № July.
10. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in As-

tronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501526.

11. Kaliski B.S. The Montgomery Inverse and Its Applications // IEEE Trans. Comput. 1995. Vol. 44, № 8.

12. Wójcik, W., & Pawłowska, M. (Eds.). (2020). Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003177593>.

REFERENCES

1. Menezes A.J., Van Oorschot P.C., Vanstone S.A. Handbook of applied cryptography // Handbook of Applied Cryptography. 1996.

2. Ubaidullah M., Makki Q. A Review on Symmetric Key Encryption Techniques in Cryptography // Int. J. Comput. Appl. 2016. Vol. 147, № 10.

3. Elgamal T. A Public Key Cryptosystem and a Signature Scheme Based on Discrete Logarithms // IEEE Trans. Inf. Theory. 1985. Vol. 31, № 4.

4. Liu M., Chen J., Li H. Partially known nonces and fault injection attacks on SM2 signature algorithm // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2014. Vol. 8567.

5. Fouque P. A., Tibouchi M., Zapalowicz J.C. Recovering private keys generated with weak prngs // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2013. Vol. 8308 LNCS.

6. Boneh D., Venkatesan R. Hardness of computing the most significant bits of secret keys in diffie-hellman and related schemes // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 1996. Vol. 1109.

7. Howgrave-Graham N.A., Smart N.P. Lattice Attacks on Digital Signature Schemes // Des. Codes, Cryptogr. 2001. Vol. 23, № 3.

8. Moghimi D. et al. TPM-FAIL: TPM meets timing and lattice attacks // Proceedings of the 29th USENIX Security Symposium. 2020.

9. Gallagher P.D., Romine C. FIPS PUB 186-4 Digital Signature Standard (DSS) // Encycl. Cryptogr. Secur. 2013. № July.

10. Nguyen P.Q., Nguyen P.Q. Public-key Cryptanalysis. 2008.

11. Kaliski B.S. The Montgomery Inverse and Its Applications // IEEE Trans. Comput. 1995. Vol. 44, № 8.

Received 03.02.2022.

Accepted 07.02.2022.

Method for increasing the degree of protection of message encryption based on an algorithm for a constant component in time

Currently, asymmetric cryptosystems are used everywhere, in document management for cryptocurrencies, providing a high level of protection to end users, relying on the mathematical complexity of calculating a discrete algorithm. But, it is possible to make a cryptocurrency attack on the so-called ephemeral key, which is an auxiliary key when creating a signature. Recent works have shown examples of cryptocurrencies on the random number generator, processor cache, timing attacks. However, these attacks do not work when the numerical value of the bits is unknown. Also, recent work shows the main vulnerability in the case signature, namely the inverse module calculation algorithm that is vulnerable to timing attacks. The article considers the damage of cryptosystems such as DSA and ECDSA before the attack based on the analysis of the variable time of signing the message. A mathematical model has been developed to test this type of lesion, based on lattice attacks. It is shown that if there are enough signatures with the same signing time, it is possible to identify the presence of common bits of ephemeral keys, which will restore the sender's private key. It is proved that the cause of the lesion is the lack of execution of the operation of calculating the inverse module of the time variable, which provides ephemeral key data to the attacker. To solve this problem, an extended Euclidean algorithm for calculating the inverse module for a fixed time is proposed. In this paper, the advanced Euclidean algorithm for calculating the inverse module is improved, namely, its constant time execution is achieved, which prevents timed attacks.

Іванчук Ярослав Володимирович – д.т.н., професор кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету.

Коваль Костянтин Олегович – к.т.н., завідувач кафедри інтеграції навчання з виробництвом Вінницького національного технічного університету.

Горобець Юрій Володимирович – аспірант кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету.

Ivanchuk Yaroslav Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Computer Science Vinnytsia National Technical University of Ukraine.

Koval Kostyantyn Olegovych – Ph. D., Head of Department of integration of study with production, Vinnytsia National Technical University of Ukraine.

Horobets Yurii Volodymyrovych – graduate student of the Department of Computer Science of The Vinnytsia National Technical University of Ukraine.

Д.С. Астахов, В.Б. Мазуренко, А.І. Федорович, Н.О. Лисенко

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ЗМІН ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ

Анотація. Досліджено інформативність критерію Шовене для виявлення викидів у вибірках випадкових величин із законом розподілу ймовірності, що відрізняється від нормального. Обчислювальний експеримент показав, що критерій Шовене має високу потужність для вибірок з симетричним, слабо асиметричним і сильно асиметричним законом розподілу ймовірності. Враховуючи цю властивість, даний критерій можна використовувати в системах виявлення вторгнень для підвищення рівня кібербезпеки інформаційних систем.

Ключові слова: інформаційна система, мережевий трафік, статистичні методи, кібербезпека.

Вступ. В інформаційних системах обмін даними між складовими об'єктами відбувається через мережеве з'єднання. Надійність мережевого з'єднання в багатьох випадках залежить від організації безпечного середовища передачі даних. Безпека даних, що передаються, має три складових – цілісність, автентичність та доступність. На практиці реалізація зазначених вимог здійснюється за допомогою програмно-апаратних комплексів та організаційних заходів.

Тобто, порушення безпеки інформаційної системи може бути викликано неправильною роботою обладнання або внаслідок втручання сторонньої людини. Перший тип причин долається за допомогою оновлення програмного забезпечення та/або за допомогою зміни налаштувань мережевого обладнання. Другий тип порушення безпеки більш складний. Для його виявлення потрібні нові більш досконалі інтелектуальні алгоритми. Вони розробляються на основі статистичних, нейронних, машинних та інших методів. В залежності від рівня абстракції, на якому вирішується задача виявлення втручання в роботу ІС, використовують відповідні методи для їх виявлення [2].

Мережевий трафік в ІС характеризується певними кількісними характеристиками. Ці характеристики мають певні статистичні властивості і закономірності. Тому, можна вважати, що статистичні характеристики мере-

жевого трафіку відображають робочий стан ІС. Це дає підставу для розробки нових і вдосконаленню існуючих методів виявлення змін статистичних характеристик мережевого трафіку. Якщо метрики мережевого трафіку роздивлятися як часовий ряд випадкових величин, то для їх дослідження застосовні будь-які методи математичної статистики [3].

Ціль дослідження. Перевірити інформативність критерію Шовене по виявленню викидів в вибірках випадкових величин з законом розподілу ймовірності, який відрізняється від нормального. Як звісно, на практиці ніколи не відомо, які статистичні закономірності мають величини, які спостерігаються. Для того, щоб застосувати той чи інший статистичний критерій для виявлення змін у випадковому процесі (часовому ряді випадкових величин) в багатьох випадках потрібне додаткове дослідження на належність до певного закону розподілу ймовірності. Для цього потрібен досить великий об'єм вибірки а значить і тривалий час для її отримання. Для вирішення оперативних задач це може бути неприємним. Тому бажано використовувати критерії виявлення статистичних відмінностей, які не чутливі до закону розподілу ймовірностей. Знайти такі критерії можна за допомогою обчислювального експерименту та математичного моделювання.

Постановка задачі. Розглянемо задачу виявлення викидів в коротких послідовностях ($n = 10...40$) випадкових величин методом Шовене [1]. Цей метод має достатню інформативність і простий в реалізації. Оскільки заявлено, що він добре спрацьовує для вибірок з нормальним законом розподілу ймовірності, треба дослідити його інформативність для вибірок з іншими видами розподілу. Для обчислювального експерименту були обрані три види законів – симетричний, слабо асиметричний і сильно асиметричний, - логістичний, Релея і експоненційний відповідно.

Викидами, як правило, стають мінімальні і максимальні значення вибірок $x(k)$. Для їх виявлення формують впорядковану вибірку $x^*(1) < x^*(2) < x^*(3) \dots < x^*(i-1) < x^*(i) \dots < x^*(n-1) < x^*(n)$, тоді $x^*(1) = x_{\min}$, $x^*(n) = x_{\max}$. Критерій Шовене вибірки $x(k)$, перетвореної в упорядковану вибірку визначається за формулою:

$$y_1(j / max) = \frac{|x^*(n/j) - \bar{x}(j)|}{s(j)},$$

$$y_2(j / min) = \frac{|x^*(1/j) - \bar{x}(j)|}{s(j)},$$

де, $\bar{x}(j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$; $s^2(j) = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x(k/j) - \bar{x}(j))^2$; j – номер експерименту;
 k – номери вимірювання.

Рішення. Формуємо вибірки максимальних $y_1(j)$ та мінімальних $y_2(j)$ значень для експериментів $j=1,2,\dots,N$; $N=100000$; довжини вибірок $n=10, 25, 50$. Емпіричні значення $y_1(j), y_2(j)$ порівняємо з критичними значеннями, які наведені в таблиці 1 [1].

$$y_1(j/n) \leq y_0 \text{ та } y_2(j/n) \leq y_0$$

Таблиця 1

Критичні значення (K^*) критерія Шовене

n	4	5	6	10	15	25	50	100	300
K^*	1,54	1,65	1,73	1,96	2,13	2,33	2,57	2,81	3,14

Математична модель прийняття рішення про стан вибірки $y(j/n)$ (без викидів)

$$y_1(j/n) \leq K^* \text{ та } y_2(j/n) \leq K^*$$

Запишеться у вигляді:

$$\text{sgn}(y_1(j/n) - y_0(n)) = 1, \text{sgn}(y_2(j/n) - y_0(n)) = 1, j = 1, 2, \dots, N$$

Отож їх сума $\frac{K_1}{n}$ та $\frac{K_2}{n}$:

$$\frac{K_1}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \text{sgn}(y_1(j/n) - y_0(n)),$$

$$\frac{K_2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \text{sgn}(y_2(j/n) - y_0(n)).$$

Це оцінки ймовірності прийняття рішень (по $x(max)$ $\frac{K_1}{n}$ та по $x(min)$ $\frac{K_2}{n}$), які за теоретичними дослідженнями вибірок випадкових величин за нормальним (логістичним) розподілом ймовірностей які повинні бути не більше ніж $\frac{1}{12n}$

$$P(K < K^*) < \frac{1}{12n}$$

Проведено обчислювальний експеримент за трьома видами законів розподілу: логістичний, експоненційний та Релея. Побудуємо гістограми

критерію та визначмо його основні статистичні характеристики. Параметри законів розподілу ймовірностей доберемо таким чином, щоб вони мали однакові значення математичних очікувань і, по можливості, однакові значення дисперсій. За основу візьмемо параметр $a = 5$ логістичного закону розподілу. Тоді параметр b для закону Релея дорівнює

$$b = a / (\sqrt{\pi / 2}) = 5 / 1.253 \approx 4.$$

Відповідно параметр σ для логістичного закону дорівнює

$$\sigma = \sqrt{\frac{4 - \pi}{2} b^2} = \sqrt{\frac{4 - \pi}{2} 16} \approx 4.$$

Для експоненційного закону розподілу параметр $\lambda = a = 5$.

За таких умов маємо наступні значення математичних очікувань і дисперсій для обраних законів розподілу ймовірностей.

Таблиця 2

	Логістичний	Релея	Експоненційний
$M[x]$	5	5	5
$D[x]$	15,5	15,5	25

В таблиці 3 наведено емпіричні ймовірності P^* прийняття рішення про відсутність викидів в вибірках випадкових величин.

Таблиця 3

n	Логістичний	Релея	Експоненційний
10	0,963	0,971	0,945
25	0,977	0,984	0,963
50	0,984	0,989	0,971

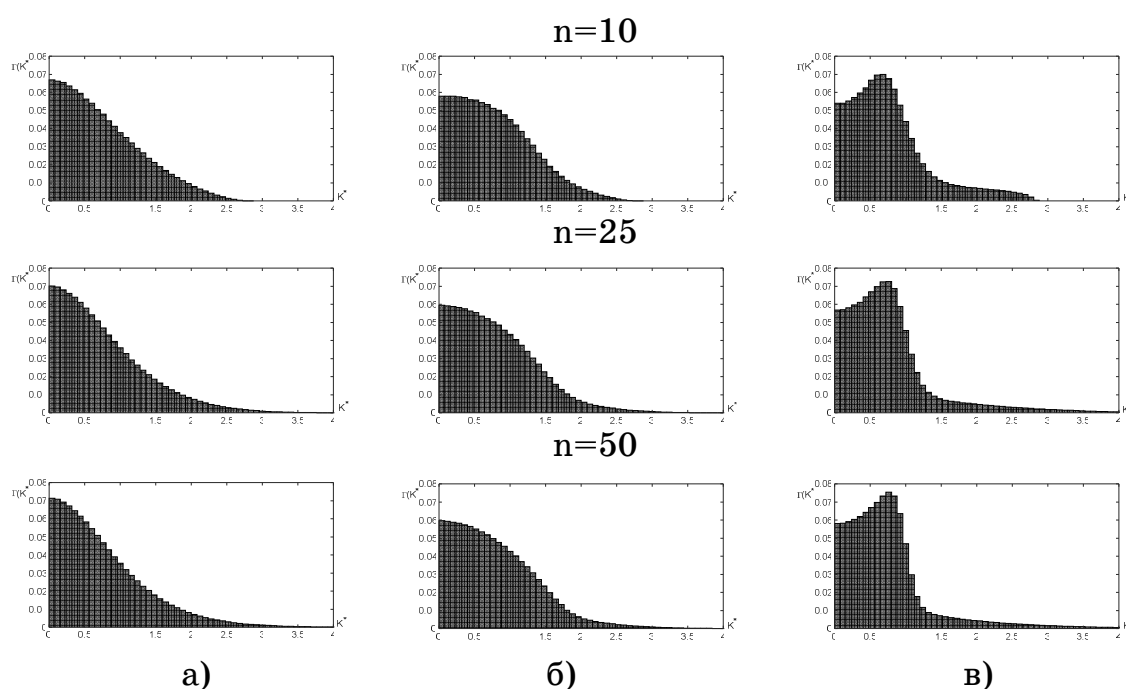


Рисунок 1 - Гістограми критерію Шовене для довжини вибірок $n = 10, 25, 50$ з логістичним а), Релеєвським б), експоненційним в) законами розподілу ймовірностей

Висновки. Аналізуючи результат обчислювального експерименту, можна зробити висновок, що критерій Шовене, виявлення викидів в вибірках випадкових величин, має схожу статистику для законів розподілу ймовірностей від'ємних від нормального. Відмінності статистики спостерігаються для випадкових величин з експоненційним законом розподілу. В середині гістограми присутній «пагорб», але потім йде різкий спад. Ця особливість не впливає на результат прийняття правильного рішення. Тобто, цей критерій можна використовувати без додаткового дослідження тестової вибірки на «нормальність». До того ж він добре спрацьовує навіть на дуже коротких вибірках з $n = 10$.

Критерій Шовене можливо використовувати для виявлення викидів метрик мережевого трафіку в інформаційних системах. Він може входити до складу автоматизованих систем виявлення вторгнення (СВВ). Можливість роботи з вибірками малого розміру дозволяє скоротити час накопичування даних і тим самим зменшити час на виявлення змін стану системи. Що, в свою чергу, дозволить своєчасно приймати превентивні міри для запобігання зовнішньому втручанню в роботу ІС, тобто підвищується загальний рівень кібербезпеки системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика/ А. И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
2. Толюпа С.В., Штаненко С.С., Берестовенко Г.В. Класифікаційні ознаки систем виявлення атак та напрямки їх побудови. Збірник наукових праць ВІТІ № 3 – 2018.
3. Малайчук В.П., Клименко С.В., Астахов Д.С. Компьютерные информационные технологии обработки измерений в задачах наблюдения и контроля. «Системні технології» 4 (129) 2020.

REFERENCES

1. Kobzar A. I. Applied mathematical statistics/ A. And yu Kobzar - M. : FIZMATLIT, 2006. - 816 p.
2. Tolyupa S.V., Shtanenko S.S., Berestovenko G.V. Klasifikatsiyni signs of systems for detecting attacks that are direct xx pobudovi. Zbirnik naukovikh prats VITI No. 3 - 2018.
3. Malaychuk V.P., Klimenko S.V., Astakhov D.S. Computer information technologies of measurement processing in monitoring and control tasks. "System Technology" 4 (129) 2020.

Received 04.02.2022.

Accepted 07.02.2022.

Methods for detecting statistical changes in network traffic characteristics

Network flows of information systems (IS) are characterized by certain quantitative characteristics. They contain information about network load, the quality of communication between nodes, and many other service information. For example, an attacker can use this service information to prepare for a cyberattack. When an attack is already being carried out, network traffic is filled with additional atypical information. In other words, the values of its quantitative characteristics change. Therefore, quantitative indicators of these characteristics can indirectly monitor the atypical behavior of network nodes. For example, by the number of requests of the same type per unit of time. Such an event may occur, for example, when the network scanner is running or during a denial-of-service attack. To detect such events, special software packages are used, such as intrusion detection systems. These systems use a variety of algorithms in their work, which are based on statistical methods, neural networks, fuzzy logic Automata, and others. The type of mathematical processing depends on the complexity of the problem, the level of the protocol being observed, and the preferences of the detection system developer. Sometimes statistical methods for analyzing metrics can be simpler and faster to implement than others, because they do not contain a large number of mathematical operations. This can allow you to monitor the state of the IP in real time. And timely detection of changes in the state of the IP allows you to avoid malfunctions. One of the signs of a change in the system state is the release of values of quantitative indicators of network traffic parameters. Therefore, this task is urgent

and requires further development and improvement. In this paper, it is investigated that using the Chauvet criterion, it is possible to detect outliers with high probability in small time series with a probability distribution that differs from the normal one.

Астахов Дмитро Сергійович - старший викладач кафедри радіоелектронної автоматики, фізико-технічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Мазуренко Валерій Борисович - доцент кафедри радіоелектронної автоматики, фізико-технічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Федорович Ганна Ігорівна - доцент кафедри радіоелектронної автоматики, фізико-технічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Лисенко Наталія Олександрівна - доцент кафедри радіоелектронної автоматики, фізико-технічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Astakhov Dmitry Sergeevich - Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, Senior Lecturer of Chair of Radioelectronic Automation.

Mazurenko Valeriy Borisovich – Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, Doctor of Philosophy, docent of Chair of Radioelectronic Automation.

Fedorovych Anna Igorivna - Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, docent of Chair of Radioelectronic Automation.

Lysenko Nataliia Oleksandrivna - Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, docent of Chair of Radioelectronic Automation.

О.І. Бабаченко, Д.М. Тогобицька, Т.В. Балаханова, Г.А. Кононенко

**КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПРИМІСНИХ ТА ЛЕГУВАЛЬНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ СТАЛЕЙ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ**

Анотація: В роботі приведено та узагальнено результати статистичного аналізу промислових даних хімічного складу та механічних властивостей понад 1500 зразків, відібраних від чорнових залізничних осей зі сталі марок ОС та EA1N. Із застосуванням методів прикладної статистики визначена відмінність впливу хімічного складу сталі для залізничних осей на рівень ударної в'язкості, зокрема марганцю та сірки. Показана необхідність застосування більшого ступеню деформації вихідних безперервнолитих заготовок зі сталі марки EA1N та реалізація заходів, які позитивно впливатимуть на зменшення дендритної ліквіації. Підкреслено вагомий вплив технології виготовлення сталі для залізничних осей близького хімічного складу.

Ключові слова: залізничні осі, механічні властивості, ударна в'язкість, хімічний склад, ліквіація марганцю, t-критерій Стьюдента

Необхідний комплекс властивостей як правило базується на основі формування оптимального структурного стану, що визначається фазовим складом сталі, розмірними характеристиками фазових і структурних складових, а також їх рівномірністю розподілення. Однією з найважливіших властивостей сталі є ударна в'язкість. Це складна комплексна характеристика, яка залежить від сукупності міцнісних і пластичних властивостей металу та характеризує сумарний опір зразка пластичному деформуванню та руйнуванню [1]. Оскільки ударна в'язкість є структурно-чутливою величиною, на зміну її значень впливає безліч факторів – неоднорідний розмір зерна і нерівномірність його розподілу, частка тієї чи іншої фази, а також рівномірність розподілу їх в обсязі металу, наявність неметалевих включень тощо. Досягнення однорідного структурного фону можливе не лише за рахунок коригування технологічних параметрів виробництва сталі та її подальшого деформаційно-термічного оброблення, а й хімічного складу сталі.

Значним резервом з поліпшення структури і властивостей осьової сталі є коригування хімічного складу навіть в межах марочного складу, що дозволить

мінімізувати витрати на додаткову термічну обробку сталі при виготовленні залізничних осей. Авторами [2, 3] показано, що на механічні властивості пластин істотний вплив чинить зміна вмісту С, Mn і Si. Однак характер впливу хімічних елементів на властивості сталей різного хімічного складу не є постійним.

Основним завданням при вирішенні цієї задачі є встановлення критичних точок і концентраційних інтервалів, які з високою достовірністю дозволять математично визначити якісний і кількісний вплив кожного легувального і примісного елементів на показники ударної в'язкості залізничних осей.

Метою роботи було визначення залежності природи матеріалу, особливостей впливу його хімічного складу на ударну в'язкість залізничних осей та зниження витрат на проведення дороговартісних лабораторних експериментів та аналізу. Для цього був проведений комплексний статистичний аналіз промислових результатів випробувань зразків чорнових осей, виготовлених зі сталей марки ОС (632 плавки) та марки EA1N (124 плавки). Їхній хімічний склад наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджених плавок та вимоги до нього нормативної документації, чисельник – мінімальне та максимальне значення у вибірці, знаменник – середнє

Марка сталі, та відповідна нормативна документація	Вміст хімічних елементів				
	C	Mn	Si	P	S
				Не більше	
ОС	<u>0,42-0,5</u> 0,448	<u>0,61-0,85</u> 0,716	<u>0,15-0,30</u> 0,224	<u>0,009-0,036</u> 0,024	<u>0,002-0,038</u> 0,0215
ДСТУ ГОСТ 4728:2014	0,42-0,50	0,60-0,90	0,15-0,35	0,035	0,035
EA1N	<u>0,34-0,38</u> 0,3516	<u>0,82-0,89</u> 0,864	<u>0,18-0,26</u> 0,209	<u>0,007-0,016</u> 0,0107	<u>0,002-0,007</u> 0,0034
EN 13261:2009 (не більше)	0,40	1,2	0,5	0,02	0,02

Марка сталі, та відповідна нормативна документація	Вміст хімічних елементів				
	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
	Не більше				
ОС	<u>0,01-0,08</u> 0,0245	<u>0,01-0,07</u> 0,017	<u>0,01-0,08</u> 0,0225	<u>0,012-0,055</u> 0,028	–
ДСТУ ГОСТ 4728:2014	0,30	0,30	0,25	0,035	–
EA1N	<u>0,05-0,13</u> 0,089	<u>0,08-0,14</u> 0,907	<u>0,14-0,22</u> 0,174	<u>0,015-0,028</u> 0,0199	<u>0,008-0,039</u> 0,0135
EN 13261:2009 (не більше)	0,3	0,3	0,3	–	0,08

За хімічним складом обидва масиви даних суттєво відрізняються. Різниця є не тільки у наведених даних, а в технології виготовлення та обробки рідкої сталі. Так сталь марки ОС є сталлю конвертерного способу виготовлення без проходження операції вакуумування. Сталь марки EA1N виплавлена в електропечі з проходженням процесу дегазації у вакууматорі і також містить менше кисню [4].

З кожної плавки було виготовлено кілька партій залізничних осей, і від кожної партії були відібрані зразки для проведення досліджень механічних властивостей. Усього проаналізовано 1264 зразки осей зі сталі марки ОС і 264 зразки зі сталі марки EA1N. В таблиці 2 вказано дані, що отримані в результаті випробувань зразків, вирізаних на $\frac{1}{2}$ R чорнової осі після гарячого деформування та термічної обробки (нормалізації).

Норми також вказані для цих місць відбору. Окремо треба зауважити різницю у ступені проробки. На нашу думку цей фактор є одним з найвпливовіших на формування комплексу механічних та експлуатаційних властивостей залізничних осей.

Значення ударної в'язкості вибірки чорнових осей були відсортовані по мірі їх зниження та виділено 2 масиви, які мали понижені та підвищені значення ударної в'язкості (рис.1).

Механічні властивості досліджених зразків та вимоги до них наявної нормативної документації, чисельник – мінімальне та максимальне значення у вибірці, знаменник – середнє

Марка сталі, та відповідна нормативна документація	Границя міцності, МПа	Границя плинності, МПа	Відносне подовження, %	Ударна в'язкість середня поздовжнього орієнтування, Дж/см ²	Ударна в'язкість середня поперечного орієнтування, Дж/см ²
ОС (Ø 150 мм, ступінь укову 5,95)	$\frac{560-745}{646,92}$	$\frac{300-445}{356,92}$	$\frac{18-32}{24,42}$	$\frac{34-127,5}{61,31}$	–
ДСТУ ГОСТ 4728:2014	580-650	≥300-325	≥18-20	≥34-49	–
EA1N (Ø 225 мм, ступінь укову 3,16)	$\frac{566,4-616,3}{589,5}$	$\frac{287,7-406,1}{350,26}$	$\frac{18-30}{25,72}$	$\frac{30-52}{41}$	$\frac{30,2-42,6}{36,235}$
EN 13261:2009	Не більше 550-650	≥320	≥22	≥30	≥20

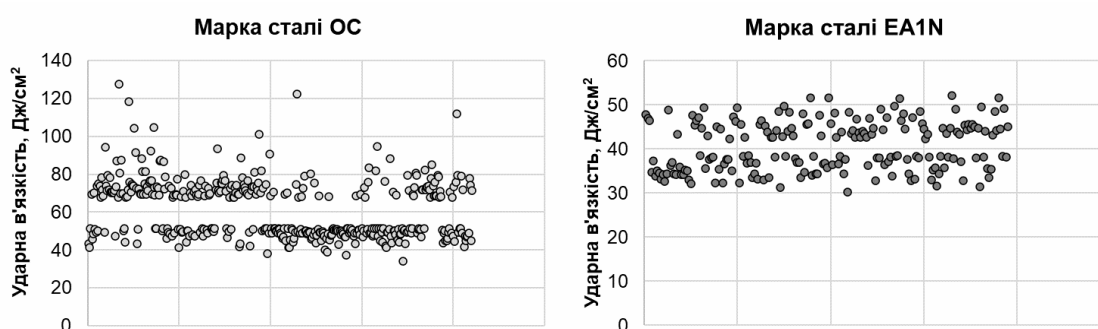


Рисунок 1 – Масиви даних досліджених зразків чорнових осей, що мають підвищенні та пониженні значення

Аналіз проводили за допомогою параметричного t-критерію Стьюдента [5]. Критерій Стьюдента дозволяє оцінити статистичну значущість відмінно-

стей між величинами, що порівнюються, а саме чим більше значення t-критерія, тим більше статистично значимі відмінності порівнюваних величин. Значення t-критерію оцінювались з вірогідністю 0,95. Найбільш вагомими значеннями коефіцієнта Стьюдента представлені на рисунку 2.

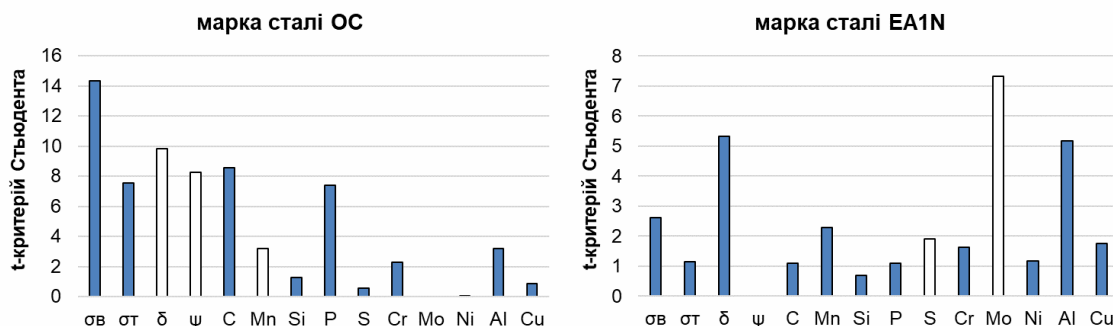


Рисунок 2 – Статистичний аналіз впливу параметрів на значення ударної в'язкості: □ – параметри з прямопропорційним впливом на показники ударної в'язкості, ■ – параметри зі зворотньопропорційним впливом на показники ударної в'язкості

Більшість факторів мають однаковий характер взаємозв'язку на показники ударної в'язкості для масивів обох марок сталі. Зі збільшенням міцнісних характеристик значення ударної в'язкості збільшується. Це пов'язано зі зростанням напруження течії металу та збільшенням частки крихкої складової. Є логічним і зростання показників ударної в'язкості зі збільшенням пластичних характеристик. Це повністю збігається з класичними уявленнями про показник ударної в'язкості. Наведені дані для сталі EA1N показують зворотній зв'язок цих характеристик. При збільшенні пластичності ударна в'язкість суттєво знижується, при цьому вплив міцнісних характеристик набагато нижчий і майже не впливає на загальну картину.

Алюміній, фосфор, хром та мідь негативно впливають на ударну в'язкість, оскільки сприяють збільшенню крихкої складової сталі та сприяють її руйнуванню. Алюміній знижує властивості сталі, оскільки через високу спорідненість до кисню, утворює недеформовані оксидні включення, які є концентраторами напружень у сталі та сприяють її руйнуванню. Слід зазначити, що у сталі EA1N у наявній малій концентрації фосфор не чинить суттєвого впливу. Те ж саме стосується і вуглецю, який є основним зміцнювальним компонентом сталей для виготовлення залізничних осей. Підвищення залежності ударної в'язкості від кількості міді, пояснюється більшим її вмістом у складі сталі EA1N, оскільки

ки мідь не можна видалити в процесі металургійного рециклінгу, що погіршує якість сталі виплавленої з брухту [6].

Звертає на себе відмінність впливу на показник ударної в'язкості вмісту сірки та марганцю.

Марганець, хоч і є зміцнювальним елементом, сприяє зростанню зерна аустеніту. Це вплинуло на підвищення пластичності сталі, що співпадає з позитивним впливом марганцю на властивості сталі ОС. В той же час слід відмітити, що марганець посилює ліквацію вуглецю, що зумовлює нерівномірний розподіл структурних складових фериту та перліту, особливо за умов збільшення його кількості та недостатнього деформаційного пророблення. На основі попередньо проведених досліджень [7, 8] можна припустити, що у зразках чорнових осей зі сталі марки EA1N спостерігається значна структурна неоднорідність розподілу фериту та перліту. У лікваційних ділянках зосереджені переважно зерна перліту, а в ділянках без ліквації переважно ферит. Цей факт пояснює і позитивний вплив сірки на показник ударної в'язкості. Хоч сірка і є елементом, що суттєво знижує властивості сталі, але в цьому випадку її вміст ймовірно сприяв зменшенню ліквації марганцю. При зниженні температури в аустенітній області, Mn концентрується більшою мірою в неметалевому включенні MnS, тим самим знижуючи його концентрацію довокола включення. Таким чином безпосередньо навколо сульфідних включень відбувається зародження фериту [9], який у міру свого зростання відтісняє вуглець до протилежної зони, в результаті чого перліт з'являється в суміжній області. Крім цього, згідно з літературними даними [10], концентрація Mn у включеннях (MnFe)S зростає при гарячій деформації і охолодженні, що, в свою чергу, призводить до збільшення зони збідненого Mn навколо утворених частинок дрібних сульфідів марганцю. В той же час за умов високого ступеню розкиснення сталі, утворюються найдрібніші частинки, які не чинять негативний вплив на її властивості, а навпаки сприяють однорідності кінцевої ферито-перлітної структури.

Визначено суттєвий вплив Mo на формування високих значень ударної в'язкості сталі марки EA1N. Цей вплив можна пояснити зниженням чутливості до розвитку крихкості при повільному охолодженні сталей, що містять молібден.

Таким чином збільшення пластичності зразків на фоні збереження міцнісних властивостей та падіння показників ударної в'язкості зумовлює необхідність застосування більшого ступеню деформації вихідних безперервнолитих

заготовок зі сталі марки EA1N та реалізація заходів, які позитивно впливатимуть на зменшення дендритної ліквідації.

Вперше показана відмінність впливу хімічного складу сталі для залізничних осей на рівень ударної в'язкості. Визначено, що сталь навіть близького хімічного складу може мати зовсім іншу природу структуроутворення [11, 12]. При виборі оптимального хімічного складу сталі для виготовлення відповідальних деталей залізничного призначення, необхідно брати до уваги способи виробництва сталі, вихідні матеріали та технологічні особливості металургійного підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Золотаревский В. С. Механические свойства металлов [Учебник для вузов. 2-е изд] / В. С. Золотаревский. – М : Металлургия, 1983.
2. Konovalov Y.V. Optimizing the chemical composition of rolled plate / Y.V. Konovalov Y.V. Furman, A. E. Rudnev et al. // Metallurgist – 1986 – № 30. – С. 364–365. – <https://doi.org/10.1007/BF00741406>
3. Semenovskiy O. Ye. Optimization of chemical composition of steel for gearwheels of agricultural industry engineering / O. Ye. Semenovskiy, L. L. Titova // Machinery & Energetics. – 2020. – № 11(4). – p. 123-129. – <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04.123>
4. Панченко А. И. Современные технологии выплавки и разливки стали EA1N для производства железнодорожных осей / А. И. Панченко, С. Г Кийко, М. И. Гасик [та ін.] Современная электрометаллургия. – 2019. –№2. –С. 35–42. – <http://dx.doi.org/10.15407/sem2019.02.06>
5. Турчин В. Н. Теория вероятностей и математическая статистика [учебник для студентов вузов] / В. Н. Турчин. – Днепропетровск: Изд-во ДНУ. – 2008. – 656 с.
6. Björkman Bo Chapter 6 – Recycling of Steel, Editor(s): Ernst Worrell, Markus A. Reuter, (Handbook of Recycling). – Elsevier. – 2014. – Pages 65-83. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00006-4>
7. Балаханова Т. В., Левченко Г. В. Особливості формування неоднорідних структур у вуглецевих сталях / Металознавство та обробка металів – (в редакції).
8. Бабаченко О. І., Балаханова Т. В., Сафронова О.А. та ін. Аналіз особливостей формування структурної неоднорідності вуглецевої сталі (огляд літератури) / Металознавство та термічна обробка металів. – 2021. – № 4. – С. 18-32.

9. Xing L. et al. The Formation Mechanism of Proeutectoid Ferrite on Medium-Carbon Sulfur-Containing Bloom //Metallurgical and Materials Transactions B. – 2021. – Т. 52. – №. 5. – С. 3208-3219.

<https://doi.org/10.1007/s11663-021-02248-w>

10. André Luiz Vasconcellos da Costa e Silva. The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications / Journal of Materials Research and Technology. – 2019. – V. 8. – Issue 2. – P. 2408-2422. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.009>

11. Сергеев Н. Н. и др. О значении математических вычислений в исследовании характеристик структуры и физико-механических свойств стали 30ХГСА, выплавленной на различной шихте //Чебышевский сборник. – 2021. – Т. 22. – №. 2 (78). – С. 449-471. – doi 10.22405/2226-8383-2021-22-2-449-471

12. Майсурадзе В. М. Влияние технологии производства на фазовые и структурные превращения кремнийсодержащей стали / М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, А. А. Куikliна, О. А. Сурнаева // Сталь. – 2017. – № 1. – С. 52-58.

REFERENCES

1. Zolotarevskiy V. S. (1983) *Mehanicheskie svoystva metallov* [Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd] / М : Metallurgiya [in Russian]

2. Konovalov, Y. V., Furman, Y. V., Rudnev, A. E., Nosov, V. G., Fishev, V. N., Shcherbak, V. M. & Popov, N. N. (1986). Optimizing the chemical composition of rolled plate, *Metallurgist*, 30(10), 364-365 [in English]

<https://doi.org/10.1007/BF00741406>

3. Semenovskiy, O. Y., & Titova, L. L. (2020) Optimization of chemical composition of steel for gearwheels of agricultural industry engineering. *Техніка та енергетика, Machinery & Energetics*, (11 (4)), 123-129, [in English]

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04.123>

4. Panchenko, A.I., Kijko, S.G., Gasik, M.I., Sal'nikov A.S., Levchenko, G.V., Gorobec A.P. & Klimchik, YU.V. (2019). *Sovremennyye tekhnologii vyplavki i razlivki stali EA1N dlya proizvodstva zheleznodorozhnyh osey. Sovremennaya elektrometallurgiya*, 2, 35–42. doi: <http://dx.doi.org/10.15407/sem2019.02.06> [in Russian]

5. Turchin V. N. (2008) *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika, uchebnik dlya studentov vuzov*, Dnepropetrovsk : Izd-vo DNU, 656 p. [in Russian]

6. Balakhanova T. V., Levchenko G. V. Peculiarities of the formation of heterogeneous structures in carbon steels, Metal Science and Treatment of Metals (Metaloznavstvo ta obrobka metaliv) [in Ukrainian]
7. Babachenko O.I., Balakhanova T.V., Safronova O.A., Shpak O.A., Klynova O.P. (2021) Analysis of specific features of the formation of structural inhomogeneity of carbon steel (review), Metal Science and Heat Treatment of Metals, 4(95), 18-32 [in Ukrainian]
8. Björkman, B., Samuelsson, C. (2014). Recycling of steel. In Handbook of recycling Elsevier. (pp. 65-83), [in English] <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00006-4>
9. Xing, L., Fan, X., Wang, M., Zhao, L., & Bao, Y. (2021). The Formation Mechanism of Proeutectoid Ferrite on Medium-Carbon Sulfur-Containing Bloom, Metallurgical and Materials Transactions B, 52(5), 3208-3219 [in English] <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02248-w>
10. Vasconcellos da Costa e Silva, A. L. (2019). The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications, Journal of Materials Research and Technology-JMR&T, 8(2), 2408-2422[in English] <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.009>
11. Sergeev, N. N., Sergeev, A. N., Kutepov, S. N., Kuzovleva, O. V., Gvozdev, A. E., & Klementev, D. S. (2021) O znachenii matematicheskikh vyichisleniy v issledovanii harakteristik strukturyi i fiziko-mehanicheskikh svoystv stali 30HGSA, vyiplavlennoy na razlichnoy shihte, Chebyshhevskiy sbornik, 22 (2 (78), 449-471. [in Russian], doi 10.22405/2226-8383-2021-22-2-449-471
12. Maisuradze M., Ryzhkov M., Kuklina A.A., Surnaeva O.A. (2017) Vlianie tehnologii proizvodstva na fazovye i strukturnye prevrasenia kremnijsoderzasej stali. Steel, (1), 52. [in Russian]

Received 07.02.2022.

Accepted 10.02.2022.

***Complex analysis of the influence of substances
and alloy elements on the impact viscosity of ste***

The paper presents and summarizes the results of statistical analysis of industrial data on chemical composition and mechanical properties of more than 1,500 samples taken from rough railway axles made of steel grades OS and EA1N with different degrees of deformation. The analysis was performed using the parametric Student's t-test, which allows to assess the statistical significance of differences between the compared values, namely, the greater the

value of the t-test, the more statistically significant differences between the compared values. A significant reserve for improving the structure and properties of axial steel is the adjustment of the chemical composition, even within the vintage composition, which will minimize the cost of additional heat treatment of steel in the manufacture of railway axles. The difference between the chemical composition of steel for railway axles and the level of impact strength, in particular manganese and sulfur, has been determined. Manganese, although a strengthening element, promotes the growth of austenite grains and enhances carbon sequestration, which leads to uneven distribution of structural components of ferrite and perlite, especially with increasing its amount and insufficient deformation. This is due to the positive effect of sulfur on toughness. Although sulfur is an element that significantly reduces the properties of steel, but in this case, its content is likely to reduce the liquation of manganese. As the temperature in the austenitic region decreases, Mn is concentrated more in the nonmetallic MnS inclusion, thereby reducing its concentration around the inclusion. The necessity of applying a greater degree of deformation of the original continuously cast steel billets of EA1N grade and the implementation of measures that will have a positive effect on the reduction of dendritic segregation is shown. The significant influence of steel production technology for railway axles of close chemical composition is emphasized.

Бабаченко Олександр Іванович - Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, директор.

Тогобицька Дар'я Миколаївна - Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, завідуючий відділом.

Балаханова Тетяна Валеріївна - Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, старший науковий співробітник.

Кононенко Ганна Андріївна - Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, вчений секретар.

Babachenko Olexander Ivanovich - Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of NAS of Ukraine, Director.

Togobytska Darya Mykolayivna - Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of NAS of Ukraine, Head of department.

Balakhanova Tatiana Valerievna - Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of NAS of Ukraine, Senior Research Fellow.

Kononenko Ganna Andreevna - Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of NAS of Ukraine, Scientific Secretary.

І.В. Байрак, О.В. Поливода, Г.В. Рудакова

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ПРОЦЕСІ РОБОТИ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ «ФРЕГАТ»

Анотація. Стаття присвячена розробці математичної моделі зміни вологості ґрунту в просторі станів, яка дозволяє визначити вологовміст у прикореневому та приповерхневому шарах ґрунту та може використовуватись для прогнозу параметрів руху ланок дощувальної машини «Фрегат».

Ключові слова: вологість ґрунту, дощувальна машина, дощувач Xi-Wob, моделювання, дискретизація, метод кінцевих різниць, простір станів, лінеаризація.

Постановка проблеми. Процес зрошення є одним з найважливіших елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур на поливних ґрунтах. Це комплексний захід, який складається з розподілу у часі кількості та норм різних видів поливів залежно від біологічних особливостей культур, меліоративного стану зрошуваних масивів, погодних умов вегетаційного періоду, способів поливу, наявності водних, енергетичних, агротехнічних, фінансових ресурсів та запланованого рівня врожаю [1]. Задачі забезпечення оптимального водного режиму ґрунту і фітоклімату посівів, виключення гравітаційних втрат води за межі зони активного вологообміну та сприяння найбільш повному використанню рослинами біокліматичного потенціалу регіону потребують моделювання динаміки вологості ґрунту у процесі зволоження, а також конструкцій і технологій, пов'язаних з водогосподарськими об'єктами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зволоження ґрунту на півдні України здійснюється переважно дощуванням із застосуванням дощувальної машини типу «Фрегат», що у великій мері наближено до природних процесів внесення вологи в ґрунтові структури, особливо з використанням новітніх дощувачів типу Xi-Wob [2,3], які забезпечують однорідне зрошення та однаковий розмір крапель. На рис. 1 наведено розпилювальні характеристики дощувачів звичайного типу та Xi-Wob при роботі в однакових умовах: тиск 1,03 бар, висота розташування 1,83 м, витрата води 3028 л/год. Xi-Wob розбризкує такий же об'єм води, що і звичайний розпилювач, зрошуючи майже вп'ятеро більшу площу [3].

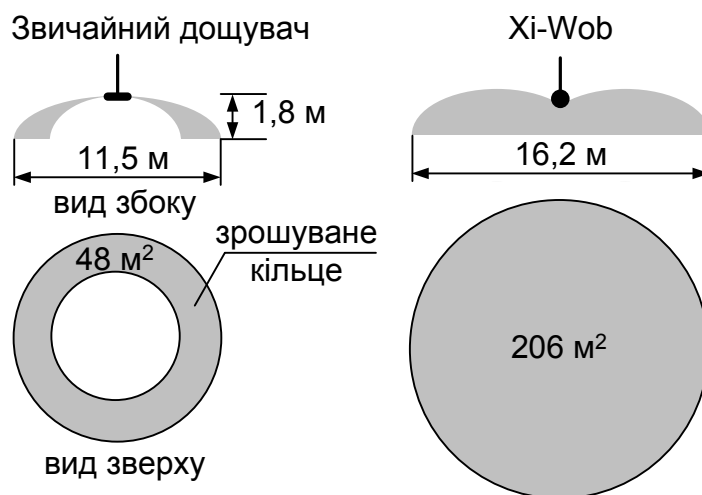


Рисунок 1 - Порівняння дощувачів звичайного та Xi-Wob

Для опису динаміки вологості ґрунту традиційно використовують статистичні, балансові, логічні, нейромережеві, стохастичні, адаптаційні моделі, моделі в частинних похідних і ін. [4-10], однак всі ці моделі мають негативні властивості при практичному застосуванні.

Статистичні (регресійні) моделі динаміки вологості ґрунту не дозволяють враховувати обмеження, обумовлені специфікою ґрунту як об'єкту моделювання [4]. Із зростанням кількості чинників, що враховуються, збільшуються помилки оцінок коефіцієнтів регресії при заданій вибірці, що обмежує можливості регресійного аналізу як методу вивчення ґрунтових характеристик. Недоліком балансових моделей є відсутність можливості прогнозувати зміну стану вологовмісту і руху води в ґрунті в залежності від часу через узагальненість параметрів водного режиму ґрунтів [5]. Моделі в частинних похідних для математичного опису руху води в ненасичених ґрунтах засновані на рівнянні Дарсі [6], яке зазвичай представляють у вигляді тришарової кінцево-різницевої схеми (0–20, 20–50, 50–100 см) [7]. Недолік моделі полягає в тому, що не можна точно оцінити динаміку вологості в прикореневому та приповерхневому шарі, бо вологість ґрунту визначають у середньому по шарах. Логічні та стохастичні моделі передбачають наявність великого масиву даних результатів спостережень за попередні роки [8]. Для використання нейромережевої моделі потрібний великий масив даних для навчання нейронної мережі, що недоцільно для моделювання динаміки вологості у відкритому ґрунті [9]. Адаптаційні моделі не враховують багато чинників, від яких залежить вологість ґрунту, такі як температура і вологість повітря, швидкість вітру та інші в явному вигляді. При використанні даного підходу обов'язково треба оцінювати точність отримуваних результатів,

проводячи для цього спеціальні чисельні експерименти, на основі даних багаторічних спостережень [10].

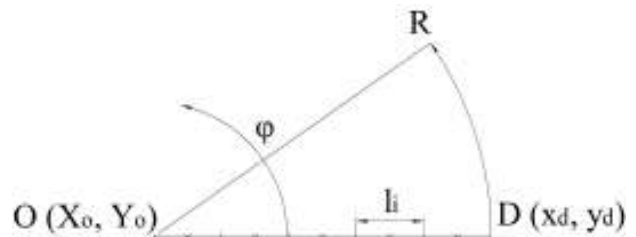
Для моделювання зміни вологості ґрунту при поливі доцільно застосовувати підхід із застосуванням лінеаризованої моделі в просторі станів, яка дозволяє аналізувати вологість ґрунту в необхідній точці орного шару з урахуванням структури зрошувальної системи та можливих опадів.

Мета досліджень. Метою статті є розробка моделі зміни вологості ґрунту, що дозволить визначати вологовміст як у прикореневому так і у приповерхневому шарі ґрунту та прогнозувати параметри руху ланок дощувальної машини «Фрегат».

Викладення основного матеріалу досліджень. Дощувальні машини типу «Фрегат» мають круговий характер переміщення навколо нерухомої опори і представляють собою трубопроводи, що розташовані на рухомих візках та обладнані середньоструйними дощувальними апаратами. Загальний вигляд дощувальної машини та схему її переміщення в процесі роботи наведено на рис. 2.



а) загальний вигляд



б) схема переміщення

Рисунок 2 - Дощувальна машина типу «Фрегат»

Конструкції дощувачів, існуючих на даний час, дозволяють забезпечити рівномірну інтенсивність розбризкування крапель по всій робочій зоні у процесі роботи «Фрегату», тому для моделювання можна обрати окрему точку. Дані отримані для однієї точки можливо поширити на всю робочу зону. Для математичного опису руху води в ґрунті використовується рівняння Дарсі:

$$\frac{\partial w(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(w(z,t)) \frac{\partial \psi(w(z,t))}{\partial z} + k(w(z,t)) \right] - I_{w(z,t)}, \quad (1)$$

де $w = w(z, t)$ – функція вологості ґрунту на глибині z в момент часу t ; $k(w)$ – функція вологопровідності ґрунту, (см/с); $\psi(w)$ – водний потенціал ґрунту (см); $I_{w(z,t)}$ – об'єм води, що видаляється з одиниці об'єму ґрунту в одиницю часу, (мм/доб).

Початкові й граничні умови задаються в такий спосіб:

$$w(z,0) = w_0 = const, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial w(z,t)}{\partial t} + \frac{k(w)}{\mu} [w_1 - w(z_0,t)] = 0, \\ \frac{\partial w(z,t)}{\partial t} + \frac{k(w)}{\mu} [w_2 - w(z_1,t)] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де $w_0(x, y)$ – початковий вологозапас в орному шарі, що потребується для культури; $w_1(w_2)$ – вологість ґрунту на верхній (нижній) границі орного шару; $z_0(z_1)$ – верхня (нижня) границя орного шару.

Рівняння Дарсі (1) є рівнянням в частинних похідних, для отримання чисельного рішення якого можна використовувати метод кінцевих різниць. Вісь z (глибина ґрунту) розбивається на N вузлових точок з кроком $h = z_{\max}/N$, а інтервал часу спостереження t_n – на M точок з кроком $K = t_n/M$. Вологість ґрунту на глибині i та у час j у кінцевих різницях для елемента (i, j) $i = 0, 1, \dots, N$, $j = 0, 1, \dots, M$, буде мати вигляд:

$$w(i, j+1) = w(i, j) + \frac{K}{h^2} [k(w(i, j)) \cdot (\psi(w(i-1, j)) - \psi(w(i, j)) - h) + k(w(i+1, j)) \cdot (\psi(w(i+1, j)) - \psi(w(i, j)) + h)] - I(w(i, j)) \cdot K. \quad (4)$$

Значення w_{i0} на лівій стороні сітки визначаються з початкових умов ($w_{i0} = w(i, 0) = w_0$). Крайові значення w_{0j} та w_{Nj} на верхній і нижній сторонах сітки відповідно отримуються у результаті апроксимації кінцевими різницями граничних умов (2), (3).

При $i = 0$:

$$w(0, j+1) = \frac{w(1, j+1) + \frac{h \cdot k(w(1, j+1)) \cdot w_{okr}}{\mu}}{1 + \frac{h \cdot k(w(1, j+1))}{\mu}}, \quad (5)$$

де w_{okr} – вологість на поверхні ґрунту, яка задається рівною 1, якщо на поверхню ґрунту поступив шар опадів або 0, якщо на поверхні ґрунту сухо; μ – кінематична в'язкість води.

При $i = N$:

$$w(N, j+1) = w(N-1, j+1) \cdot \left(1 - \frac{h \cdot k(w(N-1, j+1))}{\mu} \right) + \frac{h \cdot k(w(N-1, j+1)) \cdot w2(j+1)}{\mu}, \quad (6)$$

де $w2(j+1)$ – вологість на верхній границі підорного шару, для визначення якої пропонується формула:

$$w2(j+1) = \frac{w(N, j+1) - w(N, j)}{k_0} k_0' + w2(j) \quad (7)$$

де $k_0(k_0')$ – коефіцієнт фільтрації орного (підорного) шару.

На основі рівнянь (4) – (7) можна визначити значення вологості $w(i, j)$ по всій глибині орного шару протягом будь-якого інтервалу часу з вегетаційного періоду.

Вологість ґрунту може бути визначена при відомих ґрунтово-гідрофізичних константах: максимальній гігроскопічності w_{MG} , вологості зав'ядання w_{VZ} , найменшій w_{NV} і повній w_{PV} вологоємності, P – порозності ґрунту, коефіцієнті фільтрації $k_0 = 10^{-18.2} \cdot P^{10}$ та з урахуванням виду культивованих рослин, об'єму води, що поступає на поля від поливних систем або у вигляді випадкових опадів.

Дискретизоване рівняння Дарсі (4) можна представити в просторі станів як

$$\frac{dz}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{z}) + \mathbf{b}(\mathbf{z})\mathbf{u} + \mathbf{q}, \quad (8)$$

де $\mathbf{z} = (z_0, z_1, \dots, z_k, \dots, z_N)^T$ – вектор стану (значень вологості ґрунту по глибині); $\mathbf{f}(\mathbf{z})$ і $\mathbf{b}(\mathbf{z})$ – безперервні функції, залежні від елементів вектора стану, що формуються на основі гідрофізичних характеристик ґрунтів; \mathbf{q} – вектор зовнішніх впливів, що включає опади, водоспоживання культур, а також відтік в підорний шар; \mathbf{u} – вектор керування, сформований з урахуванням типу поливної системи.

Подальша лінеаризація рівнянь (8) дала можливість отримати їх у векторно-матричній формі. Для цього з урахуванням $\hat{z}_i = z_i - z_{is}$, $\hat{u} = u - u_s$ ($i = \overline{0, N}$) було розкладено рівняння (8) в ряд Тейлора, обмежуючись членами першого порядку. Рівняння динаміки були лінеаризовані навколо деякого сталого стану $\mathbf{z} = (z_{0s}, \dots, z_{Ns})$ і заданих керувань \mathbf{u}_s .

$$\hat{\mathbf{z}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{z}} + \mathbf{B}\hat{\mathbf{u}} + \mathbf{q}, \quad (9)$$

де матриці \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{q} мають постійну структуру але їх елементи змінюються залежно від умов функціонування системи:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{21} & a_{22} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{N-1, N-2} & a_{N-1, N-1} & a_{N-1, N} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_{N, N-1} & a_{N, N} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$\mathbf{B} = (b_{00} \ 0 \ \dots \ 0)^T, \quad \mathbf{q} = (q_0 \ -TR(z_1) \ \dots \ -TR(z_{N-1}) \ q_N)^T. \quad (11)$$

Елементи матриць визначаються із співвідношень:

$$b_{00} = \frac{c_k (z_{1s} + d_k)^4}{\mu}, \quad a_{00} = \frac{c_k (z_{1s} + d_k)^4}{\mu}, \quad a_{01} = \frac{4(z_{0s} + u_s) c_k (z_{1s} + d_k)^3}{\mu};$$

$$\text{для } i = \overline{1, N-1}: \quad a_{i+1, i} = l e^{b_\psi z_{(i-1)s}} (z_{is} - d_k)^4,$$

$$a_{ii} = r (a_\psi e^{b_\psi z_{(i-1)s}} - a_\psi e^{b_\psi z_{is}} - h) (z_{is} - d_k)^3 - l ((z_{is} - d_k)^4 + (z_{(i+1)s} - d_k)^4) e^{b_\psi z_{is}},$$

$$a_{i, i+1} = r (a_\psi e^{b_\psi z_{(i+1)s}} - a_\psi e^{b_\psi z_{is}} + h) (z_{(i+1)s} - d_k)^3 + l (z_{(i+1)s} - d_k)^4 e^{b_\psi z_{(i+1)s}};$$

$$\text{для } i = N: \quad a_{N, N-1} = c_k (z_{(N-1)s} + d_k)^3 \left(5z_{(N-1)s} - d_k + \frac{4k'_0 z_{Ns}}{\mu k_0} \right),$$

$$a_{NN} = \frac{k'_0}{\mu k_0} c_k (z_{(N-1)s} + d_k)^4.$$

Коефіцієнти a_ψ , b_ψ , c_k , d_k обчислюються через ґрунтові константи:

$$a_\psi = -10220 e^{\frac{3,58 w_{VZ}}{w_{NV} - w_{VZ}}}, \quad b_\psi = -\frac{3,58}{w_{NV} - w_{VZ}}, \quad c_k = \frac{k_0}{(P - w_{MG})^4}, \quad d_k = w_{MG}.$$

Допоміжні коефіцієнти задаються як $l = c_k \cdot a_\psi \cdot b_\psi \cdot h^{-2}$, $r = 4c_k \cdot h^{-2}$, а елементи вектора сталого стану \mathbf{z}_s визначено як розв'язок системи рівнянь (8) з нульовою лівою частиною.

Висновки. Розроблена математична модель зміни вологості ґрунту в просторі станів дозволяє визначати вологовміст як у прикореневому так і у приповерхневому шарі ґрунту залежно від його гідрологічних характеристик, виду культивованих рослин, об'єму води, що поступає на поля від поливних систем або у вигляді випадкових опадів та може використовуватись для прогнозу параметрів руху ланок дощувальної машини «Фрегат».

ЛІТЕРАТУРА

1. Черноволов В.А., Кравченко Л.В. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. 208 с.
2. Переоборудование ДМУ Фрегат спринклерами компании Сеннингер. URL: <https://ua.tegraco.com/irrigation/modernizirovannyye-dozhdevlok/> (дата обращения: 11.03.2022).
3. Mechanized Irrigation Product Catalog. <https://www.senninger.com/> (date of access: 11.03.2022).
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
5. Рекс Л.М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. М.: «Аслан», 1995. 192 с.
6. Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М.: Мир, 1971. 451 с.
7. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 167 с.
8. Кондаков Э.П., Ильинко А.В., Зайцев А.А. Экономико-математическое моделирование гидромелиоративных и водохозяйственных систем. М.: МГМИ, 1989. 154 с.
9. Питенко А.А. Нейросетевой анализ в геоинформационных системах. Красноярск: КГТУ, 2000. 97 с.
10. Галямин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении: производственно-практическое издание. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 272 с.

REFERENCES

1. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessov raspredeleniya zhidkostey v agrotekhnologiyah: monografiya. Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhenernyiy institut FGBOU VO Donskoy GAU, 2016. 208 s.

2. Pereoborudovanie DMU Fregat sprinklerami kompanii Senninger. URL: <https://ua.tegraco.com/irrigation/modernizirovannye-dozhdevlok/> (data obrasheniya: 11.03.2022).
3. Mechanized Irrigation Product Catalog. <https://www.senninger.com/> (date of access: 11.03.2022).
4. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii: uchebnik. M.: Izd-vo MGU, 1995. 320 s.
5. Reks L.M. Sistemnyie issledovaniya meliorativnyih protsessov i sistem. M.: «Aslan», 1995. 192 s.
6. Ber Ya., Zaslavskiy D., Irmey S. Fiziko-matematicheskie osnovyi filtratsii vodyi. M.: Mir, 1971. 451 s.
7. Sirotenko O.D. Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem. L.:Gidrometeoizdat, 1981. 167s.
8. Kondakov E.P., Ilinko A.B., Zaytsev A.A. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie gidromeliorativnyih i vodohozyaystvennyih sistem. M.: MGMI, 1989. 154 c.
9. Pitenko A.A. Neyrosetevoy analiz v geoinformatsionnyih sistemah. Krasnoyarsk: KGTU, 2000. 97 s.
10. Galyamin E.P. Optimizatsiya operativnogo raspredeleniya vodnyih resursov v oroshenii: proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie. L.: Gidrometeoizdat, 1981. 272 s.

Received 07.02.2022.

Accepted 11.02.2022.

Modelling of soil moisture change during the operation of the "Frigate" sprinkler

The irrigation process is one of the most important elements of technologies for growing crops on irrigated soils. The tasks of ensuring optimal soil water regime, eliminating gravitational water losses outside the zone of active moisture exchange and promoting the fullest use of plants of bioclimatic potential of the region require modeling of soil moisture dynamics in the process of wetting, as well as structures and technologies related to irrigation facilities. Soil moistening in the south of Ukraine is carried out mainly by sprinkling with the use of a Frigate sprinkler, which is largely close to the natural processes of moisture in soil structures, especially with the use of the latest Xi-Wob sprinklers, which provide uniform irrigation and uniform droplet size.

The aim of the article is to develop a model of soil moisture change, which will determine the moisture content in both the root and near-surface layers of the soil and prognoses the movement parameters of the "Frigate" sprinkler elements.

The designs of sprinklers currently available allow to provide uniform intensity of spraying of drops on all working area of "Frigate" sprinkler, therefore it is possible to choose a separate point for modeling. The data obtained for one point can be extended to the entire work area. The Darcy equation is used to mathematically describe the movement of water in the soil. The finite difference method was used to solve the Darcy equation based on the initial and boundary condi-

tions. Assuming that within each soil element the humidity changes linearly, and replacing the partial derivatives of moisture in depth and time with the analogues, the discretized model of soil moisture dynamics in the final differences was obtained, which allows you to predict moisture at any time due to hydro-soil characteristics in previous time and boundary conditions. Discretization of the Darcy equation made it possible to obtain a model of the dynamics of the humidity of the root layer in the space of states. It turned out to be nonlinear due to the hydro-physical characteristics of the soil and was linearized by transformation into the Taylor series.

The developed mathematical model of soil moisture change in the space of states allows to determine the moisture content in both the root and near-surface soil layer depending on its hydrological characteristics, type of cultivated plants, volume of water entering the fields from irrigation systems or in the form of random precipitation used to predict the movement parameters of the "Frigate" sprinkler elements.

Байрак Ігор Віталійович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Поливода Оксана Валеріївна – доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

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

Bairak Ihor Vitaliiiovych – Postgraduate Student of the Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.

Polyvoda Oksana Valeriivna – Assistant Professor of the Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.

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

ПОРІВНЯННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ДВОХ ЙОГО МОДИФІКАЦІЙ

Анотація. Алгоритм мурашиної оптимізації є одним із ефективних сучасних алгоритмів для пошуку наближених розв'язків задачі комівояжера та подібних задач пошуку маршрутів на графах. Першу версію цього метаевристичного алгоритму оптимізації запропонував Марко Доріго в 1992 році [1]. Через деякий час в літературі було запропоновано декілька модифікацій цього алгоритму.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу алгоритму оптимізації мурах (Ant Colony Optimization, ASO) [1] та його найбільш вдалих модифікацій: Ant Colony System (ACS) [2] і Max-Min Ant System (MMAS) [3]. Для цього проведено аналіз системних особливостей обміну інформацією в колонії мурах під час пошуку їжі. Представлено покроковий алгоритм, який моделює природну поведінку мурах-фуражирів у пошуку найкоротшого шляху доставки їжі до мурашника.

Розроблено програмну реалізацію трьох вказаних мурашиних алгоритмів для розв'язання задачі комівояжера. Через вікно інтерфейсу можна ввести кількість міст, кількість мурах, максимальну кількість ітерацій, виконати налаштування кожного алгоритму та вибрати будь-який із трьох алгоритмів. Результатами програми є: візуалізація найкоротшого знайденого маршруту, довжина цього маршруту та найменша кількість ітерацій, за допомогою яких досягається найкоротший маршрут.

Порівняльний аналіз результатів дозволив зробити такі висновки: 1) При вдало вибраних параметрах налаштування алгоритму ітераційні методи, зазвичай, дають результат, близький до оптимального, однак, кількість необхідних для цього ітерацій може істотно відрізнятися. 2) Вивчення проблеми комівояжера за допомогою мурашиних алгоритмів є швидше експериментальним, ніж теоретичним. Результат дуже сильно залежить від параметрів налаштування алгоритму, але теоретичне дослідження цих залежностей залишається актуальним і невирішеним питанням.

Ключові слова: задача комівояжера, оптимізація мурашиним алгоритмом, модифікації мурашиного алгоритму, програмна реалізація алгоритмів.

Вступ. Останні декілька десятиліть науковці все частіше звертаються до природних алгоритмів пошуку оптимальних розв'язків актуальних задач. При-

рода відпрацювала ці алгоритми протягом мільйонів років в процесі адаптації флори і фауни до навколишнього середовища.

Мурашиний алгоритм оптимізації є одним із ефективних сучасних алгоритмів для знаходження наближених розв'язків задачі комівояжера, а також розв'язування аналогічних задач пошуку маршрутів на графах. Цей алгоритм моделює колективну поведінку мурашиної колонії під час пошуку їжі. Перша версія цього алгоритму метаевристичної оптимізації запропонована Марко Доріго у 1992 році [1]. Через деякий час в літературі було запропоновано декілька модифікацій АСО, серед яких найбільш успішними є: ACS [2] та MMAS [3].

Постановка задачі комівояжера. Дано множину міст, а також відстань між усіма можливими парами цих міст. Необхідно знайти маршрут, який пролягає через усі міста (лише по одному разу), та повертається у початкове місто, при цьому, сумарна довжина пройденого маршруту має бути мінімальною. Розглядаємо симетричний варіант цієї задачі.

Особливості поведінки мурах-фуражирів.

1. Спочатку мурахи в пошуках їжі безсистемно курсують по місцевості.
2. Як тільки якась мураха знайшла джерело їжі, вона бере частинку і несе її в мурашник, відмічаючи свій шлях феромоном.
3. Залишивши в мурашнику принесену їжу, мураха-фуражир повертається до джерела їжі, при цьому зразу знаходить потрібний шлях за запахом феромона. За нею цілеспрямовано, орієнтуючись на запах феромона, йдуть ще декілька мурах-фуражирів. Повертаючись із їжею до мурашника, кожна мураха буде мітити стежку феромоном, роблячи її ще більш привабливою.
4. Феромон має властивість з часом випаровуватися, тому, коли мурахи перенесуть всю їжу в мурашник, вони перестануть залишати феромон на стежці, і стежка поступово втратить свою привабливість для мурах-фуражирів.
5. Мурахи в пошуках нового джерела їжі почнуть знову безсистемно досліджувати місцевість.

Подивимося на мурашину сім'ю, як на систему, і зробимо такі висновки:

- система є *самоорганізованою*, тобто, без спільного центра керування;
- система є розподіленою, тобто, кожна мураха для прийняття рішення використовує лише доступну їй *локальну інформацію* (запах феромона на стежці);
- система успішно розв'язує спільну задачу *самооптимізації*, тобто, за допомогою феромона мурахи (елементи системи) знаходять найкоротший маршрут між джерелом їжі та мурашником;

- система є *стійкою*, тобто, якщо невелика кількість мурах-фуражирів з якихось причин поміняють свій шлях або заблукають, то це не вплине на вирішення загальної задачі.

По суті мурахи демонструють собою реалізацію живого алгоритму для швидкого відшукування найкоротшого шляху між двома точками. Цей алгоритм можна формалізувати і використати для пошуку оптимального маршруту між будь-якою кількістю міст.

Ітераційна схема розв'язування задачі комівояжера.

1. Позначимо загальну кількість міст буквою n , а мурах в колонії – буквою m . Вважаємо значення n , m та розташування міст незмінними на весь час розв'язування задачі. Фіксуємо максимальну кількість ітерацій.

2. Робота алгоритму починається з випадкового розміщення n міст (вершин графа) та випадкового вибору початкового міста, з якого починає свій маршрут окрема мураха. На початковій ітерації кількість феромона на всіх ребрах графа приймаємо за малу константу $\tau_0 \geq 0$.

3. Перехід мурахи з міста i в місто j на t -ій ітерації алгоритму залежить від трьох складових: табу-списку, видимості та віртуального сліду феромона. Табу-список заповнюємо нулями на початку кожної ітерації алгоритму. На протязі здійснення маршруту до табу-списку вносимо перелік тих міст, які вже відвідані мурахою, і в які заборонено заходити ще раз. Позначимо через J_i^k список міст, які ще може відвідати мураха з номером k , що перебуває у місті i . *Видимість* – це величина $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$, де d_{ij} – відстань між містами i та j . Видимість базується лише на локальній інформації. Чим ближче міста i та j одне до одного, тим більшою буде видимість η_{ij} . *Віртуальний слід феромона* на ребрі (i, j) – це величина $\tau_{ij}(t)$, яка дорівнює кількості феромона на ребрі (i, j) на t -ій ітерації.

4. Ймовірність переходу k -ої мурахи з міста i до міста j на t -ій ітерації позначимо $P_{ij}^k(t)$ і розраховуємо за правилом:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} (\tau_{il}(t))^\alpha (\eta_{il})^\beta}, & \text{якщо } j \in J_i^k; \\ 0, & \text{якщо } j \notin J_i^k. \end{cases}$$

Тут $\tau_{ij}(t)$ – віртуальний слід феромона на ребрі (i, j) на t -ій ітерації; η_{ij} – видимість міста j з міста i ; α , β – два регульованих параметри (параметри налаштування алгоритму), які є вагами інтенсивності сліду феромона та видимості. Чим більшим буде число $P_{ij}^k(t)$, тим більш привабливим буде перехід k -ої мурахи з міста i до міста j на t -ій ітерації.

5. В процесі виконання t -ої ітерації кожна k -та мураха знаходить свій маршрут $T^k(t)$ довжини $L^k(t)$. Вибираємо найкращий варіант $L_{best}(t) = \min_{k=1,m} L^k(t)$. Якщо він кращий за найкоротший маршрут усіх попередніх ітерацій, то вибираємо його за поточний розв'язок задачі.

6. Готуємося до $(t + 1)$ -ої ітерації. Для цього кожна k -та мураха залишає на ребрі (i, j) таку додаткову кількість феромона:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L^k(t)}, & \text{якщо } (i, j) \in T^k(t) \\ 0, & \text{якщо } (i, j) \notin T^k(t) \end{cases},$$

де Q – регульований параметр (параметр налаштування алгоритму), значення якого обирають одного порядку з довжиною оптимального маршруту. Знаходимо сумарну додаткову кількість феромона

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t).$$

Випаровування феромона реалізуємо за допомогою регульованого параметра $p \in [0; 1]$. Правило оновлення феромона стосується всіх ребер і має вигляд

$$\tau_{ij}(t+1) = p \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t).$$

Далі переходимо на п. 3.

Мурашиний алгоритм ACS відрізняється від алгоритму ACO тим, що рівень феромона змінюють при проходженні маршруту кожної мурахи на поточ-

ній ітерації. При глобальному відновленні феромона додавання відбувається лише до ребер, які або глобально кращі, або локально кращі.

В алгоритмі MMAS додаються обмеження на кількість феромона (τ_{\min}, τ_{\max}). Феромони залишають лише на глобально кращих маршрутах або кращих в ітерації. Ініціалізуємо всі ребра значенням τ_{\max} .

Комп'ютерні експерименти. Програмна реалізація алгоритмів виконана мовою програмування C# у середовищі Microsoft Visual Studio Community 2019. Програмний продукт є багатопотоковим, тобто, під час виконання розрахунків інтерфейс не блокується, що надає можливість керувати процесом виконання алгоритмів.

За допомогою програми розраховано три приклади трьома, розглянутими вище, алгоритмами. Приклади відрізняються між собою лише кількістю міст та кількістю мурах, які фіксуємо випадково в заданій області для кожного із прикладів, і які в кожному окремому прикладі залишаємо незмінними для всіх алгоритмів. Результати роботи програми виводяться у вікно інтерфейсу одразу ж після закінчення потрібної кількості ітерацій, або після кожної ітерації, якщо так зручно.

У вікні інтерфейсу розташовані такі елементи керування роботою програми (див. рис. 1 – 3; 5 – 7; 9 – 11):

- поля для введення кількості мурах та міст;
- поля для введення параметрів алгоритму;
- поле завдання максимальної кількості ітерацій;
- radiobutton для вибору одного з трьох алгоритмів;
- кнопка генерації нових міст;
- кнопки керування потоком виконання програми, а саме: запусканням, призупиненням, зупиненням, відновленням.

Результатами роботи програми є:

- візуалізація найкоротшого по довжині знайденого маршруту за останньою ітерацією (ліва частина вікна інтерфейсу);
- графічна залежність найкоротшого маршруту від номера ітерації (права частина вікна інтерфейсу);
- довжина найкоротшого знайденого маршруту (праворуч знизу);
- найменший номер ітерації, на якій досягається найкоротший маршрут (праворуч знизу).

Далі наведені результати роботи програми для кожного із прикладів.

Приклад 1. Кількість міст – 25; кількість мурах – 5. Результати показані на рис. 1, 2, 3, 4.

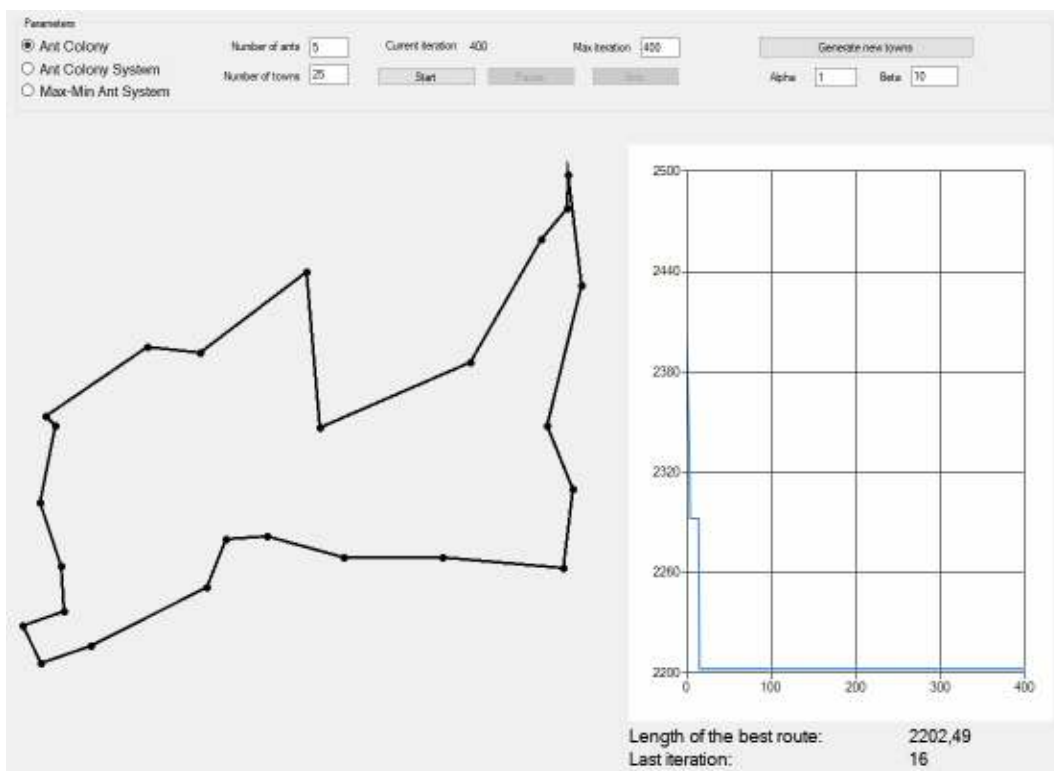


Рисунок 1 – Візуалізація результатів прикладу 1, добутих з використанням АС алгоритму

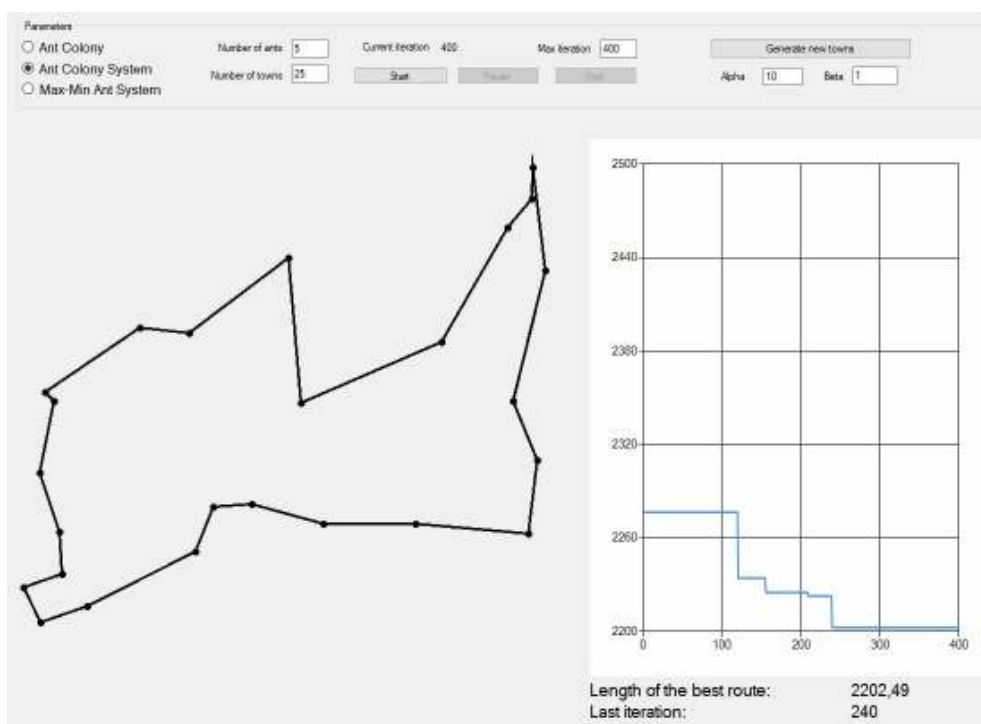


Рисунок 2 – Візуалізація результатів прикладу 1, добутих з використанням ACS алгоритму

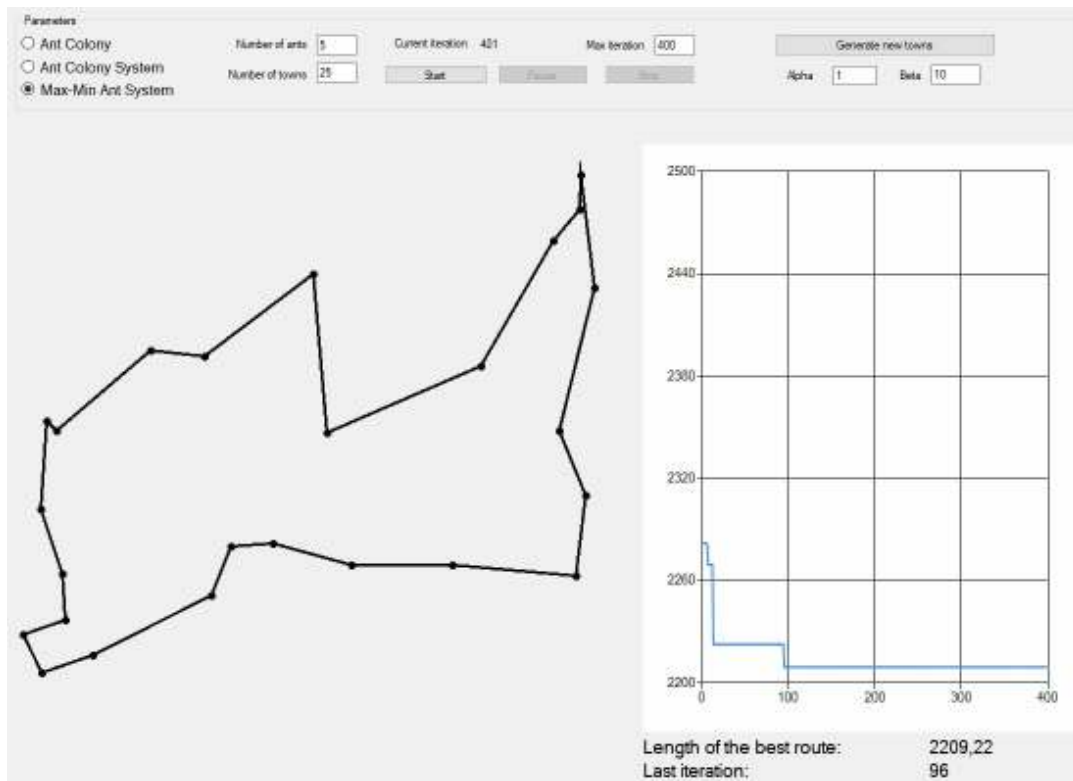


Рисунок 3 – Візуалізація результатів прикладу 1, добутих з використанням ММАС алгоритму

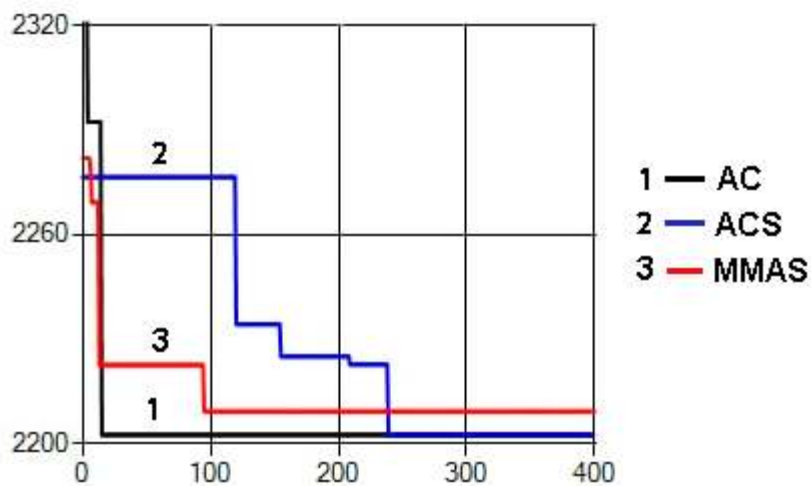


Рисунок 4 – Порівняння результатів прикладу 1, добутих трьома варіантами мурашиного алгоритму

Приклад 2. Кількість міст – 35; кількість мурах – 5. Результати роботи програми показані на рисунках 5, 6, 7, 8.

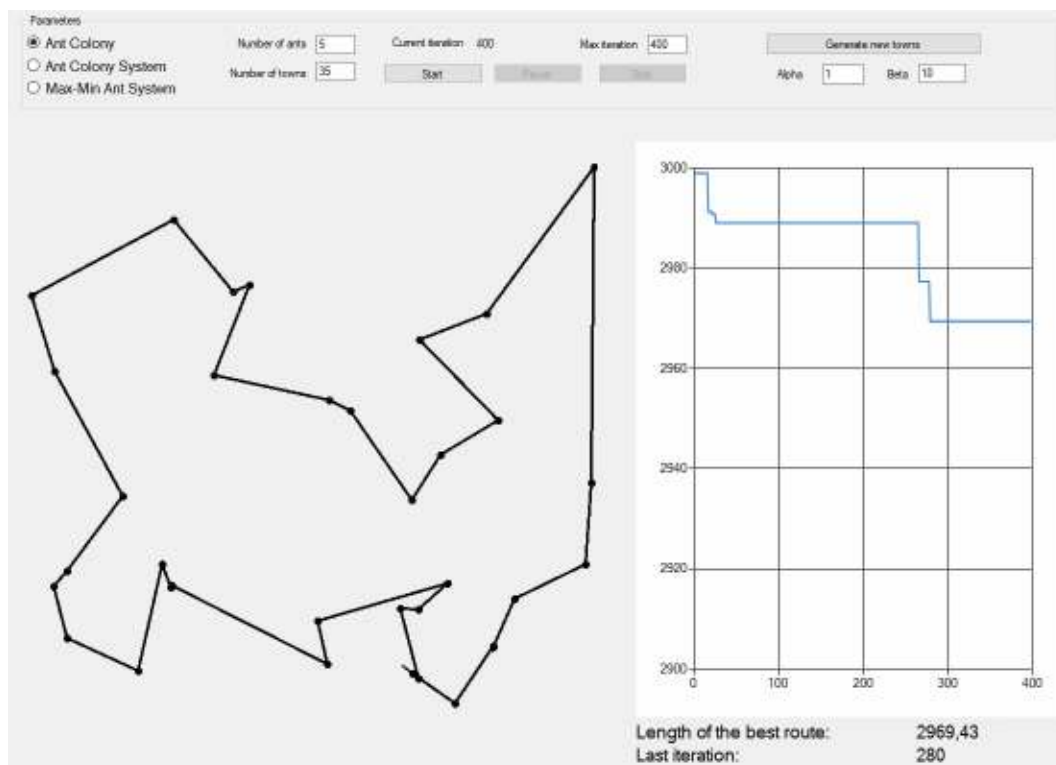


Рисунок 5 – Візуалізація результатів прикладу 2, добутих з використанням АС алгоритму

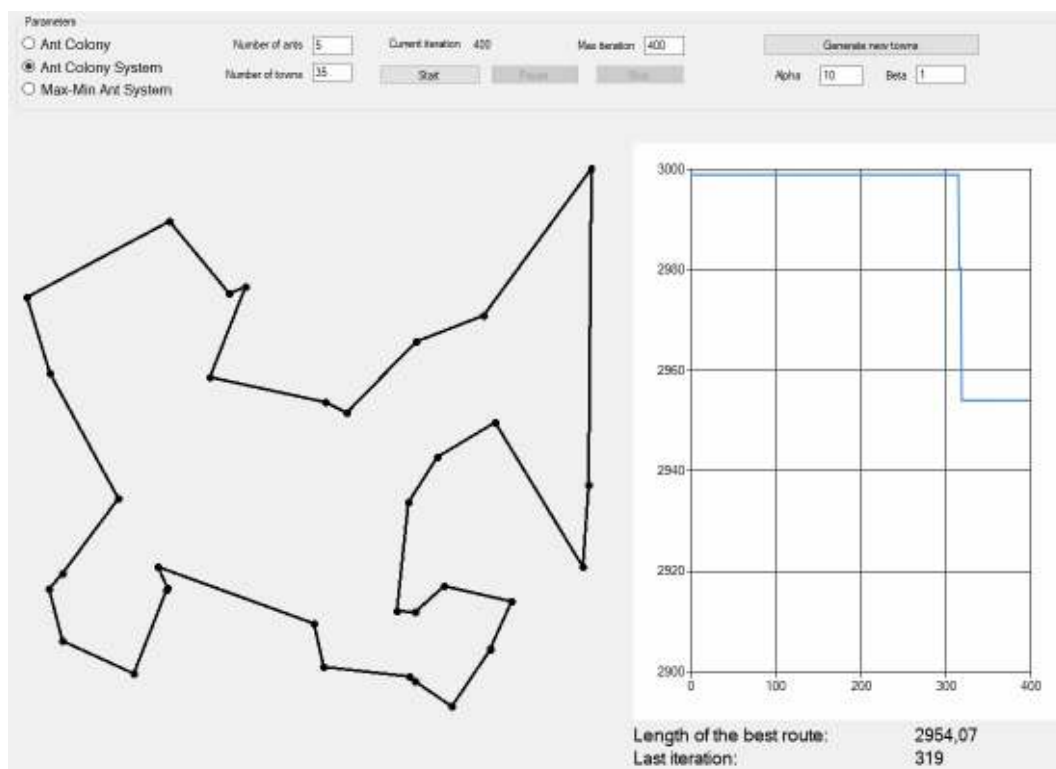


Рисунок 6 – Візуалізація результатів прикладу 2, добутих з використанням ACS алгоритму

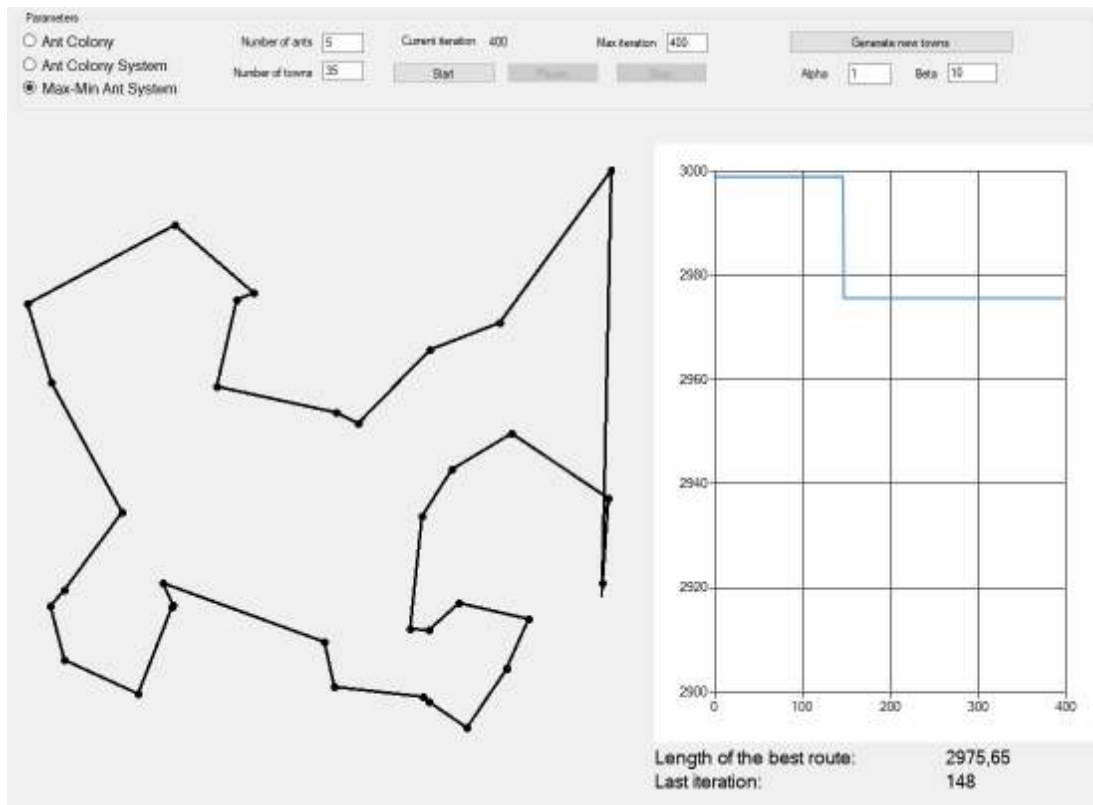


Рисунок 7 – Візуалізація результатів прикладу 2, добутих з використанням ММАС алгоритму

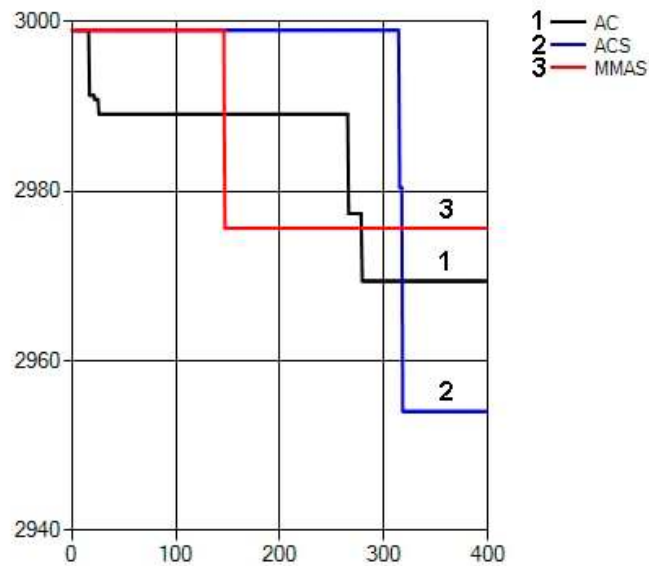


Рисунок 8 – Порівняння результатів прикладу 2, добутих трьома варіантами мурашиного алгоритму

Приклад 3. Кількість міст – 45; кількість мурах – 15. Результати показані на рис. 9, 10, 11, 12.

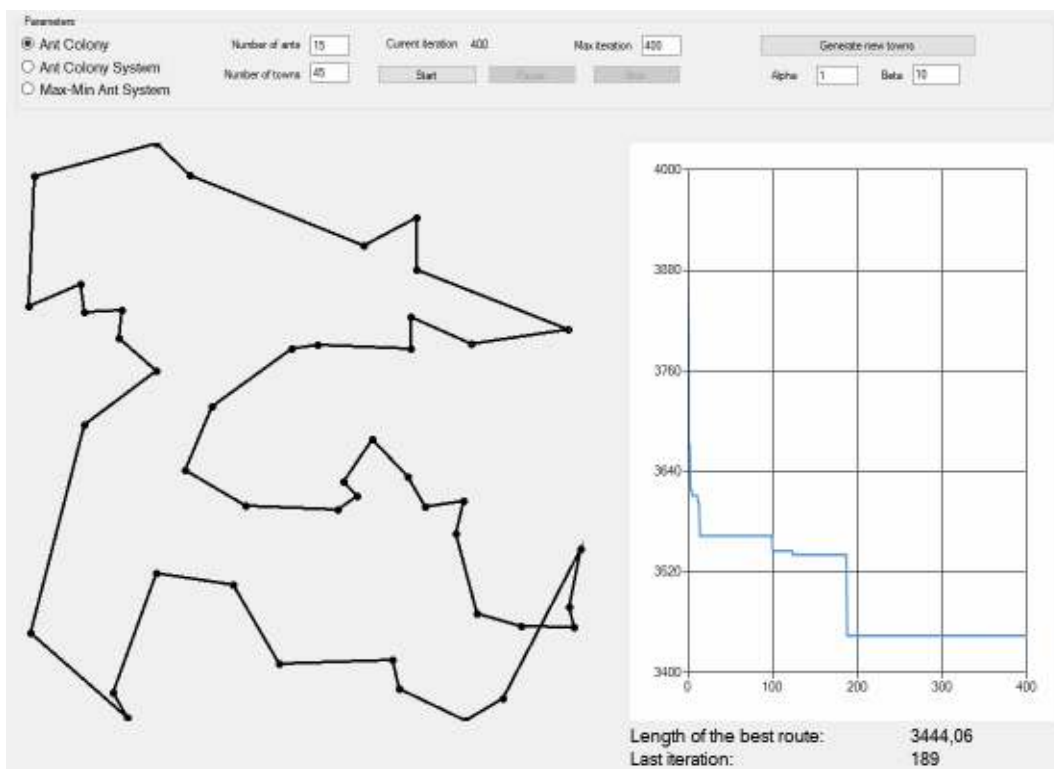


Рисунок 9 – Візуалізація результатів прикладу 3, добутих з використанням АС алгоритму

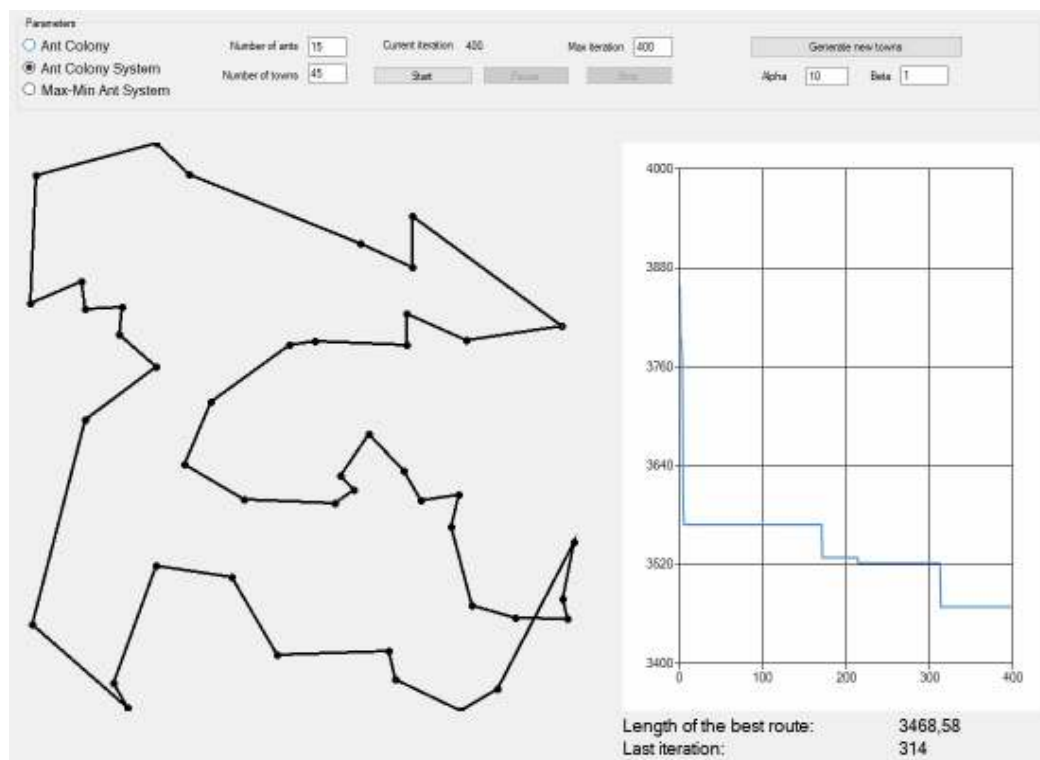


Рисунок 10 – Візуалізація результатів прикладу 3, добутих з використанням ACS алгоритму

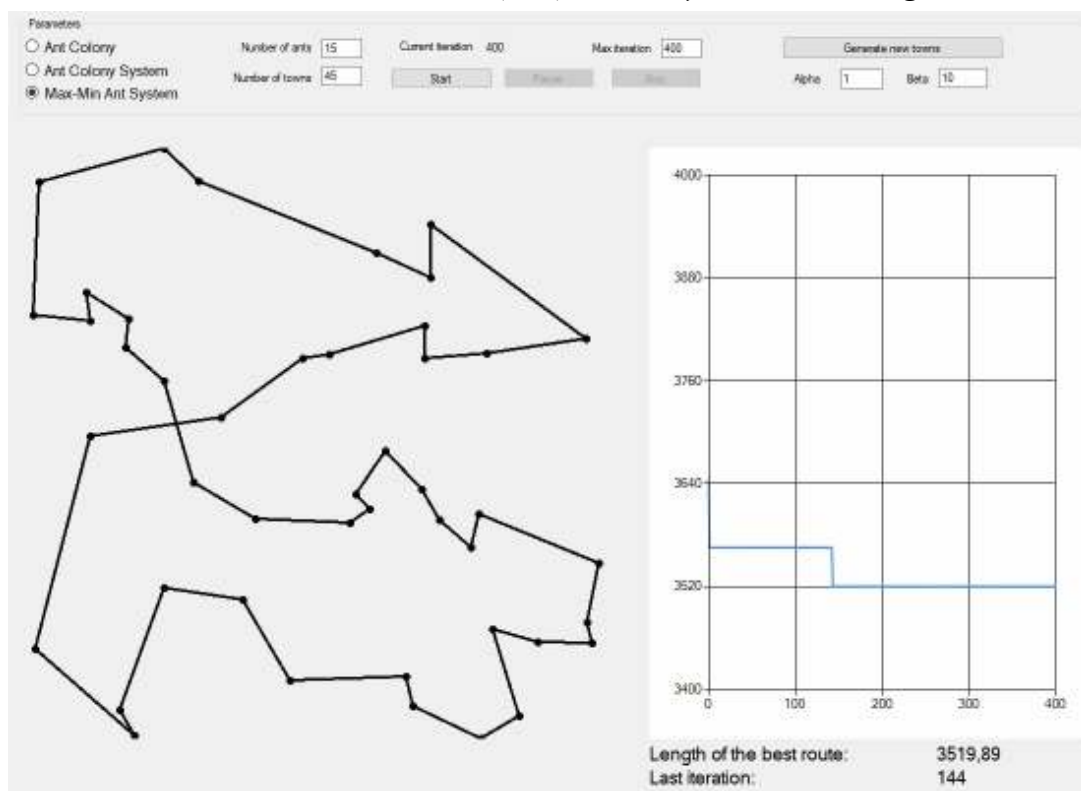


Рисунок 11 – Візуалізація результатів прикладу 3, добутих з використанням ММАС алгоритму

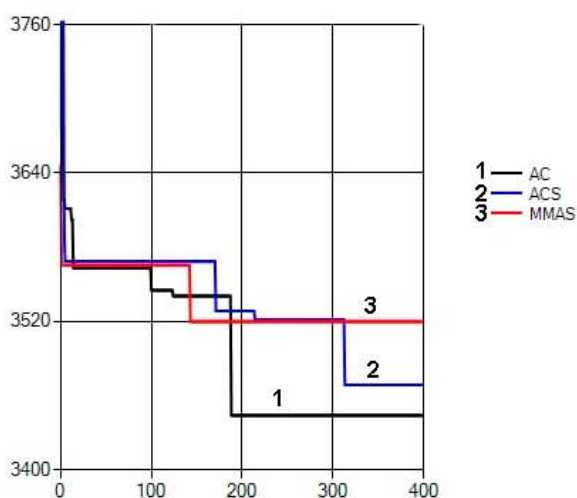


Рисунок 12 – Порівняння результатів прикладу 3, добутих трьома варіантами мурашиного алгоритму

Аналіз результатів. За результатами розрахунків складено таблицю, в якій наведені довжини найкоротших маршрутів для кожного з алгоритмів на трьох прикладах з різною кількістю міст та мурах. Як видно з таблиці, всі три алгоритми знаходять дуже близькі довжини найкоротших маршрутів, однак, мінімальна кількість потрібних для цього ітерацій може суттєво відрізнятись.

Довжини найкоротших маршрутів та необхідна кількість ітерацій

		Приклад №			
		1	2	3	
		Кількість міст	25	35	45
		Кількість мурах	5	5	15
АС алгоритм	Довжина маршруту	2202	2969	3444	
	Кількість ітерацій	16	280	189	
ACS алгоритм	Довжина маршруту	2202	2954	3468	
	Кількість ітерацій	240	319	314	
MMAS алгоритм	Довжина маршруту	2209	2975	3519	
	Кількість ітерацій	96	148	144	

Висновки. Мурашині алгоритми мають позитивну властивість налаштуватися на конкретний приклад задачі комівояжера. Іншими словами, при вдало вибраних параметрах налаштування алгоритмів α , β , Q , ρ , τ_0 ітераційні методи, зазвичай, достатньо швидко дають результат, близький до оптимального.

Дослідження задачі комівояжера мурашиними алгоритмами є швидше експериментальним, ніж теоретичним. Результат дуже залежить від параметрів налаштування алгоритмів, але теоретичне дослідження цих залежностей залишається актуальним і поки не вирішеним питанням.

REFERENCES

1. Dorigo, M., Stützle, T., Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA, 2004, 305 p.
2. Dorigo M., Gambardella L. M., Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, v. 1, 1997, p. 53–66.
3. Stützle T., H. H. Hoos., MAX–MIN Ant System. Future Generation Computer Systems, v. 16, 2000, p. 889–914.

Received 09.02.2022.

Accepted 12.02.2022.

Comparison of the ant colony optimization algorithm and its two modifications

The ant optimization algorithm is one of the effective modern algorithms for finding approximate solutions of the salesman problem and similar problems of finding routes on graphs. The first version of this metaheuristic optimization algorithm was proposed by Marco Dorigo in 1992 [1]. After some time, several modifications of this algorithm have been proposed in the literature.

The aim of the study is to conduct a comparative analysis of the ant optimization algorithm (Ant Colony Optimization, ASO) [1] and its most successful modifications: Ant Colony System (ACS) [2] and Max-Min Ant System (MMAS) [3]. To do this, the system features of information exchange in the ant colony during the search for food are analyzed. A step-by-step algorithm that simulates the natural behavior of forage ants in finding the shortest path to deliver food to the anthill is presented.

A software implementation of the three listed ant algorithms for solving the travelling salesman problem has been developed. Through the interface window, you can enter the number of cities, the number of ants, and the maximum number of iterations, fix the settings of the algorithm and select any of the three algorithms. The program randomly locates cities and selects the starting city for each ant. The software product is multi-threaded, i.e. during the calculations the interface is not blocked, which allows you to control the process of program execution, namely: start, pause, stop, resume work. The results of the program are: visualization of the shortest route found, the length of this route and the smallest iteration number, which achieves the shortest route.

Comparative analysis of the results allowed us to draw the following conclusions: 1) With well-chosen algorithm settings, iterative methods usually give a result close to optimal, however, the number of iterations required for this may differ significantly. 2) The study of the travelling salesman problem by ant algorithms is experimental rather than theoretical. The result very much depends on the parameters of the algorithm settings, but the theoretical study of these dependencies remains relevant and unresolved.

Бойко Лідія Трохимівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент по кафедрі обчислювальної математики.

Ляшенко Ілля Сергійович – магістр за спеціальністю Прикладна математика, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Boiko Lidiia – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Computational Mathematics.

Liashenko Illia - Master's degree in Applied Mathematics, Oles Honchar Dnipro National University.

О.В. Герасіна, В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, К.В. Соснін, С.М. Мацюк

ВИЯВЛЕННЯ ФІШИНГОВИХ URL-АДРЕС ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ІЗ ГЛОБАЛЬНОЮ ОПТИМІЗАЦІЄЮ

Анотація. Запропоновано алгоритм виявлення фішингових URL-адрес (класифікатор) із використанням нечіткої кластеризації, який включає вибір типу інтелектуального класифікатора та обґрунтування його параметрів за допомогою методів глобальної оптимізації. Шляхом моделювання оцінено ефективність використання запропонованого алгоритму на прикладі експериментальних даних – набору фішингових і безпечних URL-адрес.

Ключові слова: конфіденційні дані, класифікатор, нечітка кластеризація С-середніх, фішингові атаки, глобальна оптимізація, субтрактивна кластеризація.

Постановка проблеми. Фішингові URL – це шкідливі веб-сайти, які маскують себе під безпечні для отримання конфіденційних даних, таких як номери кредитних карт, інформація щодо імені користувача та паролю для входу тощо. Фішинг використовує соціальну інженерію та технічний обман, щоб отримати приватну інформацію від веб-користувача. Наразі фішинг є однією з найбільших загроз в Інтернеті. Взагалі каналами фішингових атак є електронна пошта, текстові повідомлення та посилання в соціальних мережах. Нерідко цільова сторінка фішингового веб-сайту також робить спробу проникнення в комп'ютер відвідувача та встановлення шкідливого програмного забезпечення [1].

Таким чином, фішингові атаки є значним ризиком як для фізичних осіб, так і для організацій, оскільки представляють собою загрозу розголошення або отримання конфіденційної особистої та корпоративної інформації. За даними звіту компанії APWG (Anti-Phishing Work Group) у першому кварталі 2020 р. загальною зареєстровано 165 772 окремих фішингових операції, зокрема, з використанням електронної пошти [2].

Отже, автоматичне виявлення та класифікація фішингових сайтів є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення задачі виявлення та класифікація фішингових веб-сайтів перспективним є використання

систем штучного інтелекту (нейронних мереж (НМ) та систем з нечіткою логікою) [3-7]. У роботах [3-4] запропоновано використання нечітких методів для ідентифікації фішингових веб-сайтів. При цьому, у роботі [3] зазначається, що основною проблемою використання алгоритмів інтелектуального аналізу даних є вибір набору функцій, які будуть використовуватись. У роботі [5] для вирішення цього завдання запропоновано використовувати адаптивну нейро-нечітку систему Anfis, у роботах [6-7] – НМ для виявлення фішингових повідомлень електронної пошти. Встановлено [6], що НМ з відповідною кількістю прихованих шарів можуть досягти задовільної точності, навіть якщо прикладів навчання недостатньо. Для підвищення ефективності роботи НМ запропоновано навчати їх алгоритмом рою часток [7].

Таким чином, невирішеним є завдання вибору типу інтелектуального класифікатора та обґрунтування його параметрів для виявлення фішингових URL.

Мета роботи – дослідження алгоритмів нечіткої кластеризації для виявлення фішингових URL-адрес із налаштуванням параметрів нечітких класифікаторів за допомогою методів глобальної оптимізації.

Викладення основного матеріалу дослідження. Класифікація на основі алгоритмів нечіткої кластеризації. Алгоритми нечіткої логіки ґрунтуються на твердженні, що функція належності елемента множині може приймати значення в інтервалі $[0, 1]$. Переваги таких алгоритмів – прозорість процесу отримання висновків на основі словесного опису експертних знань про процес, а також стійкість до шумів. Недоліки – відсутність автоматичного набуття знань, а також обмежена кількість вхідних змінних [8, 9].

Задача кластеризації полягає в об'єднанні множини об'єктів у групи (кластери) на основі подібності ознак для об'єктів однієї групи і відмінностей між ними. Більшість алгоритмів кластеризації можуть використовуватись в умовах майже повної відсутності інформації про закони розподілу даних. Вихідною інформацією для кластеризації є матриця спостережень [9]: $X = \{x_{i,j}\}$, де x_{ij} – значення ознаки i об'єкту кластеризації j . $i = \overline{1, p}$; $j = \overline{1, \Xi}$.

Найбільш відомими методами нечіткої кластеризації є: субтрактивна кластеризація (Subtractive Clustering, Genfis 2) та нечітка кластеризація С-середніх (Fuzzy C-means, Genfis 3) [8, 10, 11].

В основі методу субтрактивної кластеризації лежить припущення, що кожна експериментальна точка може бути центром кластеру.

При субтрактивній кластеризації генерується система нечіткого логічного висновку типу Сугено. Екстракція правил з даних відбувається в два етапи. Спочатку визначається кількість правил і потужностей терм-множин вихідних змінних. Далі за допомогою методу найменших квадратів визначається права частина кожного правила. Результатом є система нечіткого логічного висновку з базою правил, що охоплюють всю предметну область.

Алгоритм субтрактивної кластеризації може бути представлений наступним чином:

1. Розрахувати потенціалу кожної точки x_k (як міри просторової близькості між нею та іншими):

$$E(x_k) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K e^{-\frac{\|x_k - x_i\|}{(R_c/2)^2}}, \quad (1)$$

де R_c – позитивне число, яке представляє собою радіус центру кластера, K – число точок даних в навчальній послідовності.

2. Встановити кількість кластерів $k_c = 0$.

3. Виявити точку даних з найвищим потенціалом $E(x_p)$, x_p :

$$p = \arg \max_{i=1}^K E(x_i). \quad (2)$$

4. Встановити j -й центр кластера:

$$k_{c_j} = x_p, \quad (3)$$

при цьому $E(j_1)$ – його потенціал, $j=j+1$ – приріст.

5. Знизити потенціал всіх точок:

$$E(x_i) = E(x_i) - E(k_{c_j}) e^{-\frac{\|k_{c_j} - x_i\|}{(r/2)^2}}, \quad (4)$$

де $r=[1,1.5] R_c$ – позитивна постійна, що визначає діапазон впливу одного кластера; $i=1, \dots, K$.

6. Перевірити значення потенціалу точок відносно встановленого порогу thr :

$$\max_{i=1}^K E(x_i) < thr. \quad (5)$$

Якщо умова (5) виконується, то кінець алгоритму, інакше – перехід до пункту 3.

В алгоритмі субтрактивної кластеризації радіуси кластерів визначають наскільки далеко від центру кластера можуть бути його елементи. Слід зазначити, що вибір радіусу може сильно вплинути на результат. Якщо задати не-

лике значення радіусу, то база буде повнішою, але чутливою до викидів і неточностей вимірів. Якщо задати радіус занадто великим, то можна втратити деякі правила при синтезі класифікатора.

В основі алгоритму нечіткої кластеризації С-середніх лежить метод невідзначених множників Лагранжа, який дозволяє задачі знаходження умовного екстремуму цільової функції на множині допустимих значень перетворитись на задачу безумовної оптимізації функції.

Алгоритм нечіткої кластеризації С-середніх – це ітеративна процедура, в якій виконуються наступні кроки:

1. Завдання нечітких кластерів матрицею розбиття:

$$M_D = [\mu_{\theta i}], \mu_{\theta i} \in [0,1], \theta = \overline{1, \Theta}, i = \overline{1, k_c}; \quad (6)$$

при цьому

$$\sum_{i=1}^{k_c} \mu_{\theta i} = 1, \quad 0 < \sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{\theta i} < \Theta; \quad (7)$$

де $\mu_{\theta i}$ – ступінь належності об'єкта θ до кластеру i , k_c – кількість кластерів, Θ – кількість елементів.

2. Установка параметрів алгоритму: k_c – кількість кластерів, ϖ – експоненційна вага, яка визначає нечіткість, розмазаність кластерів ($\varpi \in [1, \infty]$), \mathcal{E} – параметр зупинки алгоритму.

3. Генерація випадковим чином матриці нечіткого розбиття з урахуванням умов (7).

4. Розрахунок центрів кластерів Ω_i :

$$\Omega_i = \frac{\sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{\theta i}^{\varpi} * |X_{\theta}|}{\sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{\theta i}^{\varpi}}, \quad i = \overline{1, k_c}. \quad (8)$$

5. Розрахунок відстані між об'єктами з матриці спостережень і центрами кластерів:

$$D_{\theta i} = \sqrt{\|X_{\theta} - \Omega_i\|^2}. \quad (9)$$

6. Перерахунок елементів матриці розбиття.

- якщо $D_{\theta i} > 0$, то $\mu_{\theta i} = 1 / \left(D_{j\theta}^2 * \sum_{j=1}^{k_c} \frac{1}{D_{j\theta}^2} \right)^{1/(\varpi-1)}$;

- якщо $D_{\theta_i} = 0$, то $\mu_{\theta_i} = \begin{cases} 1, j = i \\ 0, j \neq i \end{cases}, j = \overline{1, k_c}$.

6. Перевірка умови (якщо вона виконується, то кінець алгоритму, інакше – перехід до пункту 4):

$$\|M_D - M_D^*\| < \varepsilon, \quad (10)$$

де M_D^* – матриця нечіткого розбиття на попередній ітерації алгоритму.

У наведеному алгоритмі параметром, який може суттєво вплинути на результат, є число кластерів k_c . Обрати кількість кластерів для реальних завдань без достатньої апріорної інформації про структури даних досить складно, й наразі існують два підходи до цього. Перший підхід заснований на критерії компактності і роздільності отриманих кластерів (наприклад, індекс Хей-Бені). Другий підхід пропонує починати кластеризацію при досить великому числі кластерів, а потім послідовно об'єднувати схожі суміжні кластери. При цьому використовуються різні формальні критерії схожості кластерів.

Також на результат алгоритму нечіткої кластеризації С-середніх може вплинути такий параметр, як експоненційна вага (ω), яка задає рівень нечіткості отриманих кластерів. Наразі не існує обґрунтованого правила вибору значення експоненціального ваги, і зазвичай її встановлюють рівною 2.

Оскільки задача вибору нечіткого класифікатора з налаштуванням його параметрів є полімодальною, то це вимагає використання методів глобальної оптимізації, серед яких найбільш ефективними є пошукові методи. У них алгоритм пошуку оптимального рішення пов'язує наступні один за одним рішення $\Psi_s(j+1) = F[\Psi_s(j)]$, де F – алгоритм пошуку, який показує які операції слід зробити на кроці j при рішенні $\Psi_s(j)$, щоб отримати нове рішення $\Psi_s(j+1) \succ \Psi_s(j)$. Тут знак переваги \succ при мінімізації функціоналу має сенс:

$$C[\Psi_s(j+1)] < C[\Psi_s(j)]. \quad (11)$$

В алгоритмах прямого випадкового пошуку (ПВП) задаються напрямки пошуку і визначаються значення функціоналу C в точках $\Psi_s(j) \pm \gamma\zeta$. Рішення полягає у виборі кроку в напрямку зменшення цього функціоналу:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\zeta\{C[\Psi_s(j) + \gamma\zeta] - C[\Psi_s(j) - \gamma\zeta]\}, \quad (12)$$

де ω, ζ, γ – параметри, що визначають сфери прийняття рішення (ω), збору інформації (γ) та одиничний випадковий напрям (ζ). У загальному випадку параметри в (12) можуть змінюватися (адаптуватися) до процедури пошуку і виду гіперповерхні прийнятого функціоналу.

Розвитком методу ПВП є метод імітації відпалу (МІВ), який відображає поведінку розплавленого матеріалу при затвердінні із застосуванням процедури керованого охолодження (відпалу). У процесі відпалу кристалізація розплаву супроводжується глобальним зменшенням його енергії, однак допускається її зростання на деякий час. Завдяки цьому можливий вихід з пасток локальних мінімумів енергії, що виникають при реалізації процесу.

В алгоритмах МІВ задаються напрямки пошуку і визначаються значення функціоналу C в точках $\Psi_s(j) \pm \nu\tau$. Рішення полягає у виборі кроку в напрямку зменшення цього функціоналу:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\nu\{C[\Psi_s(j) + \nu\tau] - C[\Psi_s(j) - \nu\tau]\}, \quad (13)$$

де ω, ν, τ – параметри, що визначають сфери прийняття рішення (ω), зміну поточного рішення (ν) і зменшення температури (τ).

Метод порогового прийняття (МПП) використовує підхід, схожий з МІВ, але замість того, щоб вибрати нові точки, які оптимізують критерій з певною ймовірністю, цей метод обирає все нові точки нижче встановленого порогу. Таким чином, поріг і температура систематично знижені, що дозволяє уникнути ймовірнісних обчислень, і може визначити оптимум швидше, ніж в МІВ.

Розвитком пошукових методів є еволюційні алгоритми, серед яких найбільш поширені генетичні алгоритми (ГА), які моделюють розвиток біологічної популяції на рівні геномів: мутації структури і параметрів, їх схрещування (розмноження) [8, 9]:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j), \quad (14)$$

і правило відбору, що дозволяє виявляти їх сприятливі варіації, за допомогою яких будується послідовність поліпшених рішень.

Більшість задач, що вирішуються за допомогою ГА, мають один критерій оптимізації. Багатокритеріальна оптимізація (БО) заснована на знаходженні рішення, одночасно оптимізуючого більш ніж одну функцію. У цьому випадку шукається певний компроміс, в ролі якого виступає рішення, оптимальне в сенсі Парето. При БО, що використовує ГА вибирається не одна хромосома, що представляє собою оптимальне рішення в звичайному сенсі, а безліч хромосом, оптимальних в сенсі Парето. Користувач має можливість вибрати оптимальне рішення з цієї безлічі [8]:

$$k \cdot \Psi_s(j+1) = k \cdot (\Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j)), \quad (15)$$

де $k \geq 2$ – число розглянутих критеріїв.

Як критерій глобальної оптимізації використовують комбінований критерій:

$$C_{\text{комб}} = 0,2 \cdot C_{\text{рег}} + 0,8 \cdot C_{\text{зм}}, \quad (16)$$

де $C_{\text{рег}}$ – критерій регулярності, що обчислюється на перевіірочній вибірці [12]:

$$C_{\text{рег}} = \frac{\|Y_B^*[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y_B^*[m+n]\|}, \quad (17)$$

$C_{\text{зм}}$ – критерій незміщеності (мінімуму зсуву), заснований на аналізі рішень [12]:

$$C_{\text{зм}} = \frac{\|\hat{Y}_A[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y^*[m+n]\|}. \quad (18)$$

Моделювання процесу виявлення фішингових URL-адрес було проведено в середовищі Matlab за допомогою стандартних та розроблених програм. Узагальнена структура алгоритму виявлення фішингових URL-адрес зображена на рис. 1.

Для моделювання використовувався набір даних із 150 фішингових і 150 безпечних URL-адрес, який включав в себе інформацію про регістратора доменного імені, час життя домену, геолокацію хостинг-сервера, наявність захищеного з'єднання з дійсним сертифікатом. Для збору фішингових URL-адрес використовувалась база валідованих фішингових посилань на Phishtank.org, куди завантажують нові зразки посилань як антивірусні компанії, так і індивідуальні дослідники. Для збору безпечних URL-адрес використовувався сервіс Alexa.com, де є адреси популярних веб-сайтів. При цьому, весь набір даних був розділений на навчальну і тестову вибірки.

Використовувались класифікатори на основі алгоритмів Genfis 2 та Genfis 3.

Як глобальні методи оптимізації використовувались ГА, БО, ПВП, МІВ, МПП. Як критерій глобальної оптимізації використовувався критерій (16).

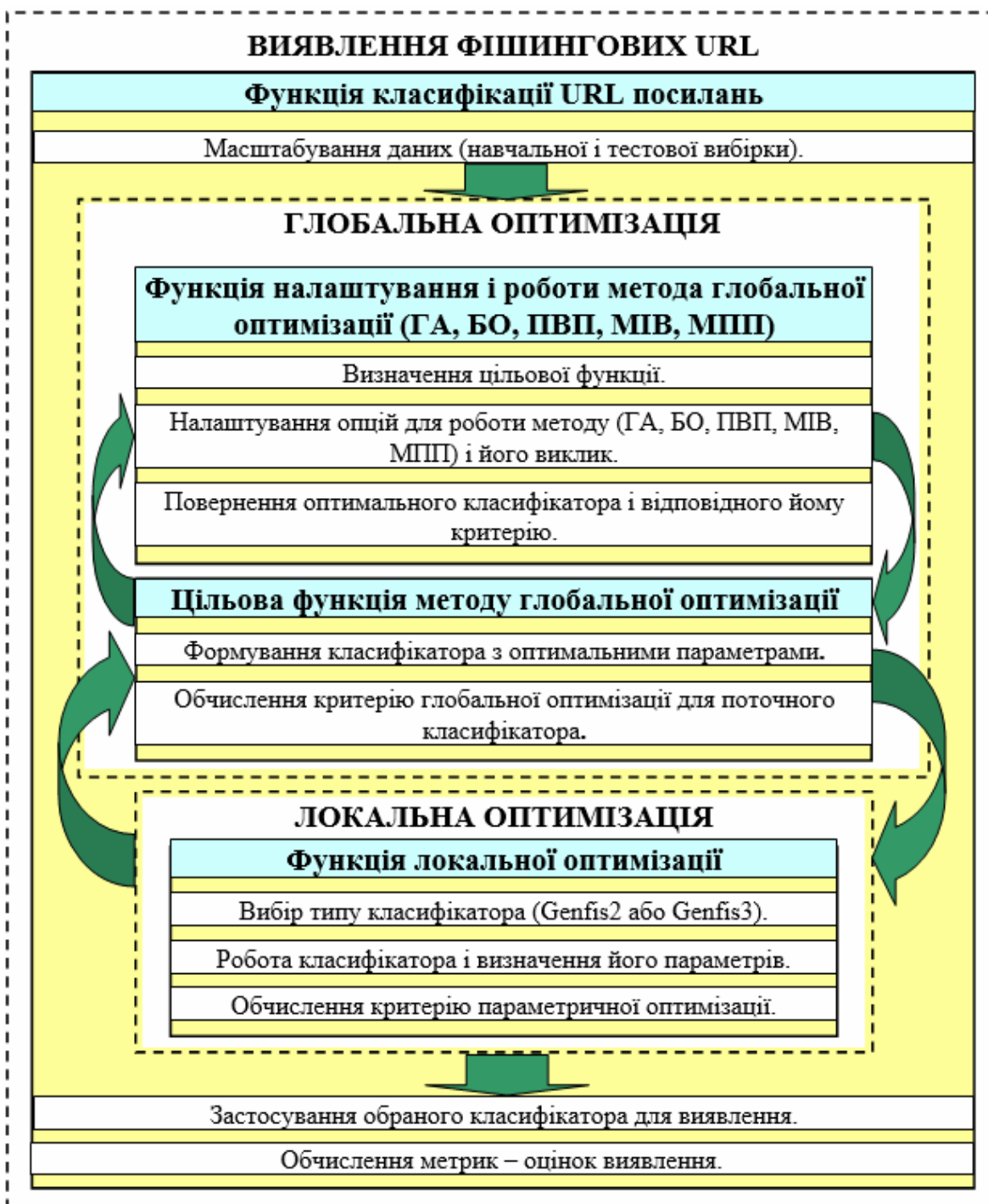


Рисунок 1 - Структура алгоритму виявлення фішингових URL-адрес

Для оцінки класифікації URL-адрес використовувались наступні метрики:

- TP (True Positive) – кількість безпечних посилань які було класифіковано як безпечні;
- TN (True Negative) – кількість фішингових посилань які було класифіковано як фішингові;

- FP (False Positive) – кількість безпечних посилань які було класифіковано як фішингові;

- FN (False Negative) – кількість фішингових посилань які було класифіковано як безпечні;

І похідні від них:

- True positive rate:

$$TPR = TP / (TP + FN); \quad (19)$$

- True negative rate:

$$TNR = TN / (TN + FP); \quad (20)$$

- False positive rate:

$$FPR = FP / (FP + TN); \quad (21)$$

- False negative rate:

$$FNR = FN / (FN + TP); \quad (22)$$

- Positive predictive value:

$$PPV = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN); \quad (23)$$

- Negative predictive value:

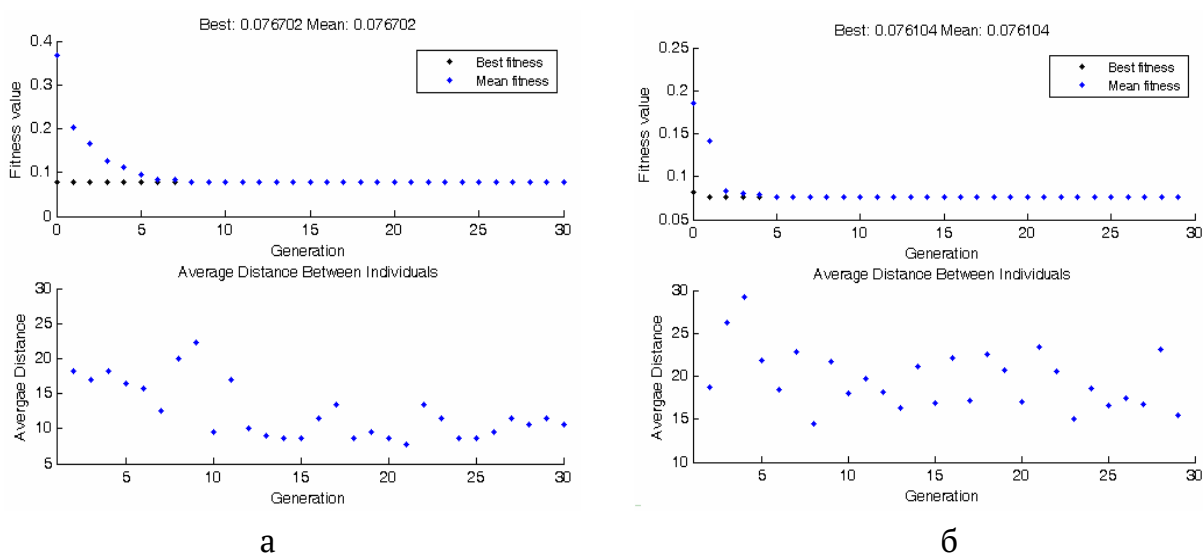
$$NPV = TN / (TN + FN); \quad (24)$$

- F-measure – гармонійне середнє між TPR і PPV:

$$F - measure = 2 * PPV * TPR / (PPV + TPR). \quad (25)$$

У контексті завдання виявлення кібератак найбільш важливою є метрика FN / FNR, яка дає кількісну оцінку невиявленим атакам.

Результати глобальної оптимізації для знаходження типу і параметрів нечіткого класифікатора наведено на рис. 2.



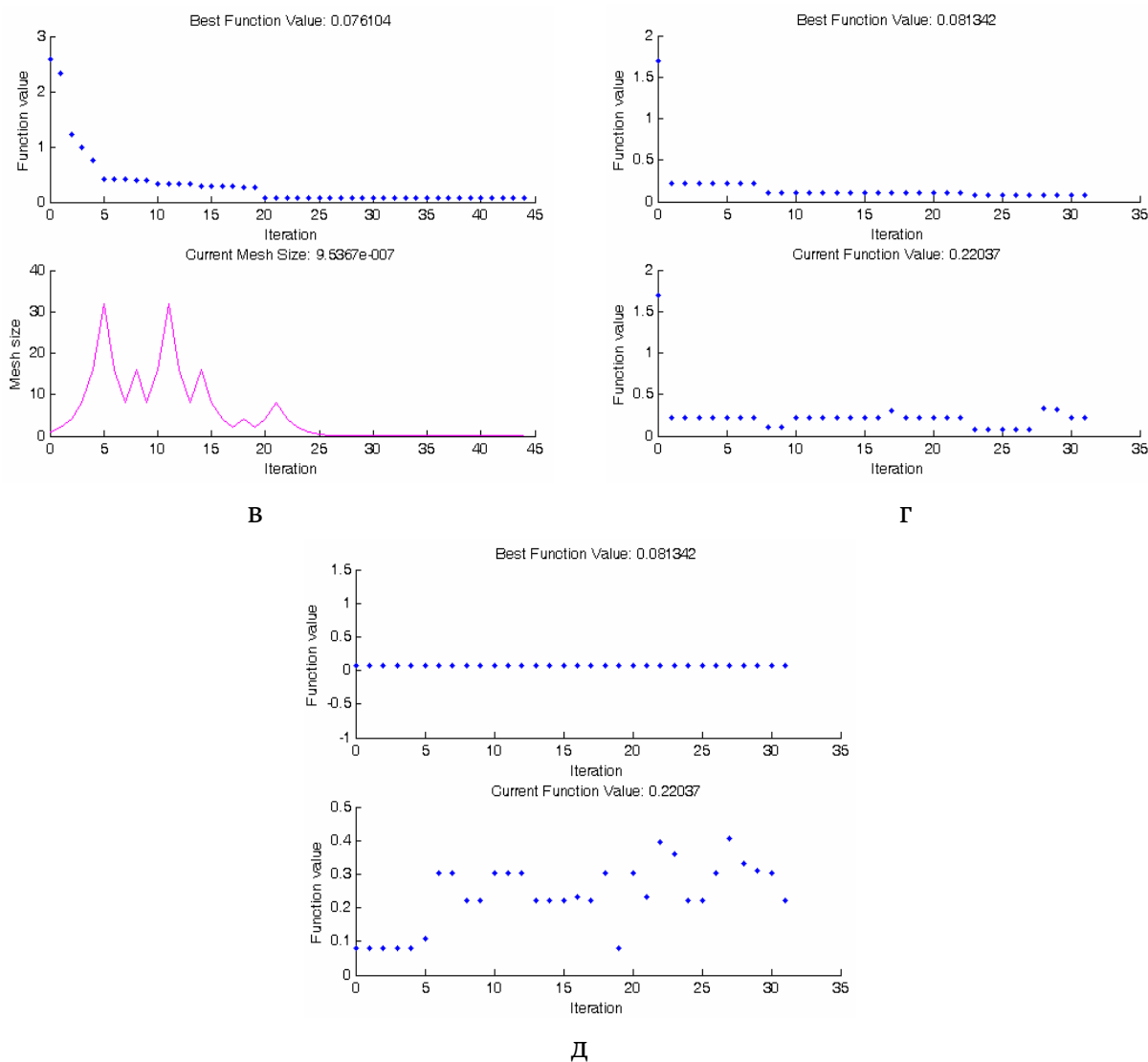


Рисунок 2 - Результати глобальної оптимізації параметрів нечіткого класифікатора для виявлення фішингових URL-адрес за допомогою: а – ГА, б – БО, в – ПВП, г – МІВ, д – МПП

Метод БО використовував ГА для знаходження безлічі оптимальних за Парето рішень. ПВП мав адаптивний крок пошуку і повний пошук навколо поточної ітерації, МІВ і МПП – обмежену область перевідпалу, ГА – одноточкове схрещування, селективний вибір батьків, формування нової популяції із витісненням. Кількість ітерацій для ПВП, МПП і МІВ (для ГА і БО поколінь) обмежувалось на рівні 100, а розмір простору пошуку для ПВП (для ГА і БО розмір популяції, для МПП і МІВ розмір області перевідпалу) – 30.

При глобальній оптимізації варіювались наступні параметри класифікатора:

- тип алгоритму – Genfis2 або Genfis3;

- для Genfis2 – діапазон впливу кластерного центру R_c ;
- для Genfis3 – алгоритм нечіткої логіки (Мамдані або Сугено [8]) і число кластерів k_c .

У результаті моделювання (див. рис. 2 (а-д)) встановлено, що БО і МПП мають найвищу швидкість збіжності (БО виходить в область оптимальних рішень на перших поколіннях, МПП – перших ітераціях, ГА – у середньому після 7 поколінь, МІВ – після 7 ітерацій, ПВП – після 20 ітерацій).

Алгоритм ПВП виявив найвищу швидкодію (1 с на ітерацію, при 2 с на ітерацію в МІВ, 3 с на ітерацію в МПП, 9 с на покоління в ГА і 10 с на покоління в БО). При цьому алгоритми ПВП і БО виявили найкращу збіжність (значення критерію (16) при їх використанні склали 0,076, при 0,081 для МІВ і МПП та 0,077 для ГА).

Встановлено, що мінімуму критерію (16) відповідають: тип алгоритму Genfis3 з використанням структури алгоритму Сугено і 6 кластерами.

Значення метрик оцінки виявлення фішингових URL-адрес для цього класифікатора наведено в табл.1. Тут встановлено, що усі фішингові URL-адреси, які були класифіковані як безпечні (FN=30) мали захищене з'єднання з дійсним сертифікатом (https).

Таблиця 1

Значення метрик оцінки виявлення URL-адрес

TP	TN	FP	FN	TPR	TNR	FPR	FNR	PPV	NPV	F-measure
120	150	0	30	0,8	1	0	0,2	0,9	0,833	0,847

Висновки

Розроблено алгоритм виявлення фішингових URL-адрес (класифікатор) із використанням нечіткої кластеризації та методів глобальної оптимізації.

Шляхом моделювання встановлено, що мінімуму комбінованого критерію відповідає нечіткий класифікатор із алгоритмом субтрактивної кластеризації та використанням структури Сугено і 6 кластерами.

Встановлено, що усі фішингові URL-адреси, які помилково були класифіковані як безпечні, мали наявність захищеного з'єднання з дійсним сертифікатом. Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на дослідження додаткових інформативних атрибутів (ознак), які могли б дозволити більш якісно розділяти фішингові і безпечні URL-адреси.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звіт компанії NSS Labs про тестування захисту від фішингу за другий квартал 2020 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RWAIQX>.
2. Звіт компанії APWG про тенденції фішингової діяльності за перший квартал 2020 року. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q1_2020.pdf.
3. Intelligent phishing detection system for e-banking using fuzzy data mining / M. Aburrou, M.A. Hossain, K. Dahal, F. Thabtah // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol.37, issue 12. – P. 7913–7921.
4. Fuzzy Modelling using Firefly Algorithm for Phishing Detection / N.S. Nordin et al. // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2019 – Vol. 4, No. 6. – P. 291-296.
5. Barraclough P.A. Parameter optimization for intelligent phishing detection using Adaptive Neuro-Fuzzy / P.A. Barraclough, M.A. Hossain, G. Sexton, N. Aslam // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence. – 2014. – 3(10). – P. 16-25.
6. Zhang N. Phishing Detection Using Neural Network / N. Zhang, Y. Yuan // Stanford University – 2012. [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://cs229.stanford.edu/proj2012/ZhangYuan-PhishingDetectionUsingNeuralNetwork.pdf>.
7. Gupta S. Phishing URL detection by using artificial neural network with PSO / S. Gupta, A. Singhal // 2nd International Conference on Telecommunication and Networks (TEL-NET). – 2017. – P. 1-6.
8. Корнієнко В.І. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусев, О.В. Герасіна; за заг. ред. В.І. Корнієнка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 536 с.
9. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский // пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
11. Yager R. Essentials of Fuzzy Modelling and Control / R. Yager, D. Filev. – USA: John Wiley & Sons. – 1984. – 387 p.

12. Bezdek J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms / J.C. Bezdek. – New York : Plenum Press. – 1981. – 272 p.
13. Ivakhnenko A.G. Inductive learning algorithms for complex systems modeling / A.G. Ivakhnenko, H.R. Madala – London, Tokyo: CRC Press, 1994. – 384 p.

REFERENCES

1. Zvit kompanii NSS Labs pro testuvannia zakhystu vid fishynhu za druhyi kvartal 2020 r. [Electronic resource] – Access mode: <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RWAIQX>.
2. Zvit kompanii APWG pro tendentsii fishynhovoii diialnosti za pershyi kvartal 2020 roku. [Electronic resource] – Access mode: https://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q1_2020.pdf.
3. Intelligent phishing detection system for e-banking using fuzzy data mining / M. Aburrous, M.A. Hossain, K. Dahal, F. Thabtah // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol.37, issue 12. – P. 7913–7921.
4. Fuzzy Modelling using Firefly Algorithm for Phishing Detection / N.S. Nordin et al. // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – 2019 – Vol. 4, No. 6. – P. 291-296.
5. Barraclough P.A. Parameter optimization for intelligent phishing detection using Adaptive Neuro-Fuzzy / P.A. Barraclough, M.A. Hossain, G. Sexton, N. Aslam // International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence. – 2014. – 3(10). – P. 16-25.
6. Zhang N. Phishing Detection Using Neural Network / N. Zhang, Y. Yuan // Stanford University – 2012. [Electronic resource] – Access mode: <http://cs229.stanford.edu/proj2012/ZhangYuan-PhishingDetectionUsingNeuralNetwork.pdf>.
7. Gupta S. Phishing URL detection by using artificial neural network with PSO / S. Gupta, A. Singhal // 2nd International Conference on Telecommunication and Networks (TEL-NET). – 2017. – P. 1-6.
8. Korniienko V.I. Intelktualne modeliuвання neliniinykh dynamichnykh protsesiv v systemakh keruvannia, kiberbezpeky, telekomunikatsii: pidruchnyk / V.I. Korniienko, O.Yu. Husiev, O.V. Herasina; za zah. red. V.I. Korniienka; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. tekhn. un-t «Dniprovska politekhnikha». – Dnipro : NTU «DP», 2020. – 536 p.
9. Rutkovskaya D. Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy / D. Rutkovskaya. M. Pilinskiy. L. Rutkovskiy // per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M.: Horiachaia lynyia-Telekom, 2006. – 452 p.

10. Shtovba S.D. Proektyrovanye nechetkykh system sredstvamy Matlab / S.D. Shtovba. – M.: Horiachaia lynyia – Telekom, 2007. – 288 p.
11. Yager R. Essentials of Fuzzy Modelling and Control / R. Yager, D. Filev. – USA: John Wiley & Sons. – 1984. – 387 p.
12. Bezdek J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms / J.C. Bezdek. – New York : Plenum Press. – 1981. – 272 p.
13. Ivakhnenko A.G. Inductive learning algorithms for complex systems modeling / A.G. Ivakhnenko, H.R. Madala – London, Tokyo: CRC Press, 1994. – 384 p.

Received 10.02.2022.

Accepted 14.02.2022.

Detecting fishing URLs using fuzzy clustering algorithms with global optimization

An algorithm for detecting phishing URLs (classifier) using fuzzy clustering is proposed, which includes choosing the type of intelligent classifier and justifying its parameters using global optimization methods. The following were studied as intellectual classifiers: subtractive clustering and fuzzy clustering of C-means. To find (adjust) the optimal (for a specific task) parameters of intelligent classifiers, the use of global optimization methods is justified, including genetic algorithm, direct random search, annealing simulation method, multicriteria optimization and threshold acceptance method. As a criterion of global optimization, a combined criterion was used, which includes the definition of the regularity criterion calculated on the test sample and the bias (minimum shift) criterion based on the analysis of solutions. By modeling in the Matlab environment with the help of standard and developed programs, the evaluated efficiency of using the proposed algorithm is evaluated on the example of experimental data – a set of 150 phishing and 150 secure URLs. The set of experimental data included information about the domain name registrar, the lifetime of the domain, the geolocation of the hosting server, the presence of a secure connection with a valid certificate. By simulation it is established that the fuzzy classifier with the subtractive clustering algorithm and using the Sugeno structure and 6 clusters meets the minimum of the combined criterion. All phishing URLs that were mistakenly classified as secure were found to have a secure connection with a valid certificate. Thus, further research should be aimed at exploring additional informative attributes (features) that could allow better separation of phishing and secure URLs.

Герасіна Олександра Володимирівна – доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент;

Корнієнко Валерій Іванович – завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», д.т.н., професор;

Гусєв Олександр Юрійович – професор кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.ф.-м.н., доцент;

Соснін Костянтин Володимирович – доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.;

Мацюк Сергій Михайлович – асистент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», к.т.н.

Gerasina Oleksandra – Associate Professor of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Korniienko Valerii – Head of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Gusev Oleksandr – Professor of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor;

Sosnin Kostiantyn– Associate Professor of Department of Cyberphysical and Information-Measuring Systems, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences;

Matsiuk Serhii – Assistant Lecturer of Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Candidate of Technical Sciences.

D. Soldatenko, Vic. Gnatushenko

STUDY OF EFFICIENCY OF USING IT-INFRASTRUCTURE-AS-A-SERVICE FOR CLOUD COMPUTING

Abstract. With the growth of the information technology market and the constant increase in demand, companies began to carry an unprecedented burden on their own infrastructure, trying to meet t customers' growing expectations. Safe, reliable, and fast services are a top priority for companies that are largely trying to meet the expectations of their customers and adjust to the constant changes in the service market. With constant efforts to increase their own computing power, infrastructure and storage space, companies are increasingly finding that the cost of developing and maintaining a reliable, secure, and at the same time scalable infrastructure is prohibitive.

To cope with the challenges of acquiring and maintaining their own infrastructure solutions, companies can take advantage of off-the-shelf solutions such as cloud computing. Cloud computing is a fast-growing industry that allows companies not to focus on expanding their own local infrastructure and, instead, move to the use of ready-made Internet services. Cloud service providers provide access to storage and processing, as well as software at affordable and dynamic prices, which allows companies to save money by adopting cloud solutions. Cloud services provide a variety of service models, each capable of meeting a specific set of business requirements and needs. The main service models include Infrastructure as a Service (IaaS), Software as a Service (SaaS) and Platform as a Service (PaaS), the features and disadvantages of which vary and are interchangeable, allowing you to choose a more suitable model.

This article explores existing solutions and services and provides the advantages and disadvantages of using one or another solution for various needs and highlighted the most universal solution suitable for most requests. In the study, the most popular solutions related to cloud computing present and analyze their key features. The most powerful and attractive service for processing a large amount of input data, including space images, is IaaS. When used, it provides high speed and availability of resources, adaptation to the task, data security due to distributed storage and processing, which allows increasing performance and minimizing latency for the end user.

Keywords: cloud computing, data processing, saving data, infrastructure as a service, platform as a service, software as a service.

1. Problem statement

Using and maintaining infrastructure is a very costly practice, as the companies have to constantly hire qualified personnel and upgrade the current infrastructure. Among other things, the company needs to constantly worry about security, as vulnerabilities can be found in the software used, potentially leading to security problems. An equally important problem with the support of its infrastructure is adaptability to growing and seasonal demand, since with an increase in the number of customers, the load increases, which leads to the mandatory expansion of the infrastructure. The variability of demand leads to the fact that most of the time, the equipment is idle since it must be ready for peak and seasonal loads, which leads to unnecessary costs for its support. The use of cloud computing helps avoid most of the problems, but the company needs to choose its needs.

This paper proposes the features of the leading cloud computing models and comparisons with the most versatile of them. The research results use to select a more suitable solution and use it based on the need for specific needs.

2. Analysis of recent reports and publications

The field of cloud computing is the most growing niche in the IT industry today. Many tech giants have changed their priority for several years to provide access to their resources and increasingly integrate with IoT and cloud computing. Some of the most prominent players in this market that provide their services are such companies as Google, Oracle, Amazon, Microsoft, IBM [1-5], each of which, in turn, provides the maximum coverage of all possible areas related to storage data, cloud computing, artificial intelligence, analytics, and many other services.

One of the problems in communicating information about services is focusing on their advantages and solutions, compared to competitors, which is a regular business practice, but creates difficulties for companies and customers when selecting and searching for information on the technology itself, and not on a specific service provider. Implementation of cloud solutions allows companies to save up to 30% [6]. Also, selecting a suitable technology and migration from an existing service is quite common, which creates additional difficulties during migration associated with a partial or complete incompatibility between various service providers, which mainly make customers more attached to their ecosystem.

Concerning IaaS, this service is provided by all major service providers since this is one of the most popular services among the services provided. However, the approach may differ from provider to provider, which can present some difficulties,

in the event of which, IaaS will be the universal service in this regard since it allows us to change the supplier at a lower cost.

3. Purpose of the Study

The study's primary purpose is to analyze and evaluate existing service solutions for use in cloud computing, data storage, and data analysis in the information space. A comparison of the most popular cloud computing solutions, namely, these include their features, advantages, and disadvantages, compared to IaaS.

4. Description of Main Material of Research

Cloud computing is needed for its application, regardless of the type of task and industry. The main advantages of cloud computing are the following:

- Flexibility: the use of cloud computing allows us to get access to the most advanced technological solutions since all the care of updating the infrastructure and using the latest solutions falls on the cloud service providers.
- Cost minimization: by the cloud, we can pay only for the resources used, which avoids the downtime of already paid equipment.
- Elasticity: cloud computing allows us to gradually scale the required number of resources according to needs and respond to surges in activity or unforeseen situations more quickly.

As well as advantages, cloud calculating also has disadvantages that must be considered when using the cloud services, like the following:

- Constant connection to the network: to gain access to the services provided by the clouds, we need a constant connection to the Internet.
- Closed source: most cloud providers systems are closed and do not provide at all or with some restrictions the ability to customize the service for our purposes.
- Confidentiality: for all the reliability of storing data in public clouds, it is still not recommended to use them to store valuable documents or essential information. Today it is impossible to guarantee complete confidentiality and data protection.

There are three main groups of cloud computing: Infrastructure-as-a-Service ("IaaS"), Software-as-a-Service ("SaaS"), and Platform-as-a-Service ("PaaS"). These services are also called cloud computing stacks, as they stack on top of one another. Each of them should be used depending on the needs since there is no universal approach. The business needs to choose the appropriate one depending on the task at hand.

- IaaS: one of the main groups of cloud computing. The use of the IaaS scheme provides IT infrastructure on demand (virtual machines, storage, servers, and others.), which gives maximum flexibility and scalability, as well as a pay-as-you-go system.

- PaaS: refers to services that provide access to development tools, which require deploying a system for managing web or mobile applications and eliminates the need to deal with the underlying infrastructure of servers, storage, and databases required for the development.

- SaaS: a model in which the customer's software deploys at a cloud solution provider's infrastructure. It uses in cases where instead of spending money on maintaining our infrastructure, the subscription model is the best solution.

The best way to understand the main difference between the models is to compare their management approaches responsible for and available to the end-user. Unlike traditional IT and its approach, IaaS, PaaS, and SaaS provide a more progressive level of abstraction. IaaS abstracts aspects such as data storage, networking, physical computing, and the technology required to virtualize these resources. The PaaS model, in turn, abstracts the runtime, software, and operating system. SaaS provides the end-user with all applications as a service, entirely abstracting everything else.

Services	Traditional IT	IaaS	PaaS	SaaS
Application	●	●	●	●
Data	●	●	●	●
Runtime	●	●	●	●
Middleware	●	●	●	●
Operating system	●	●	●	●
Virtualization	●	●	●	●
Networking	●	●	●	●
Storage	●	●	●	●
Servers	●	●	●	●

User
Provider

Figure 1 - Management approaches of different models

Cloud technologies with different forms of ownership divided into different types, the choice or application of any of them are suitable for different cases and depend on the purpose of the main types of clouds. The following three can be distinguished:

- Private: A controlled and secure IT infrastructure that is deployed and operated for a single organization. The third party or contractor is fully responsible for the deployment and management of the infrastructure.

- Public: it is used simultaneously by many companies and services that do not have access to this cloud's management and maintenance, but the resource owner does the maintenance, allowing anyone to buy resources for their own needs, regardless of whether it is a company or an individual.

- Hybrid: Includes the best solutions and qualities of private and public clouds to solve a glorified task. It mainly uses seasonally when the internal IT infrastructure does not cope with the tasks set, the public cloud's capacity is rented and used, and when necessary, to provide access to the company's resources to a third party from the outside.

- Multi-block environment: The main difference from the hybrid approach is the use of many cloud computing resources and power in a single, cohesive architecture.

The development of cloud computing is proceeding at an incredible pace; in 2020, 48% of IT infrastructure spending directed to the cloud, which is approximately \$57.8 billion [7].

The essential benefit of IaaS is its flexibility and scalability in use. Using this approach, the business or the end-user can control when it is necessary to increase or decrease the infrastructure's capacity, which will allow it to adapt to seasonal or temporary needs and save on this in the long term. Flexibility in configuration will allow us to automatically adjust the distribution and use of resources according to the need, which will avoid problems with a sharp increase in traffic. Doing international business allows us to leverage on-premises or nearby cloud computing resources, increasing the system's speed and responsiveness since clouds are in many locations worldwide. Using off-the-shelf cloud solutions will allow us to focus on expanding our business without investing in additional infrastructure.

Security should always be a priority in any aspect of the IT infrastructure, as it poses a threat to the entire infrastructure, business, and privacy. Most IaaS services make considerable investments in their security system, as they are responsible for the safety and security of the data they store. The primary means of protection are:

- strict binding to the service's physical location,
- compliance with local laws on the storage of information, and
- the use of reliable authentication systems in the service.

One of the critical security enhancements provided by IaaS is data encryption, such as end-to-end encryption when transmitting and storing sensitive data, which in most cases provides a greater level of protection than using own infrastructure for hosting, responsibility for the safety of which lies entirely with us.

The improved performance is one of the well-known benefits of IaaS, as it is fully scalable, and many cloud services support full control over it. The cloud architecture provided for use by the provider is, in most cases, much more redundant and reliable than its solutions. It is a paramount quality at the initial stages of building a business, as it allows us to save on building our own IT infrastructure and its maintenance while reducing total capital costs (CapEx) and allows us to get a more productive system at the start. The Service Level Agreement (SLA) provided by the IaaS service providers ensures that the level of performance will be maximum on the cloud infrastructure used.

The guarantee of business continuity, the safety of backups, and a disaster recovery system are the most significant advantages of IaaS cloud computing, which allows us to protect ourselves from unforeseen situations. Most IaaS service providers place their equipment in locations with maximum security, availability, redundant power, and constant network access. Using our infrastructure, any of the listed problems can ultimately limit the work, in contrast to using the cloud. Also, for early resumption in case of an unforeseen situation, backup cloud resources can be used, which is another advantage of clouds, which will maximize uptime.

Summing up the most significant advantages that can serve to use IaaS, the following list can be distinguished:

- Speed of work: using the IaaS model, we can allocate more of the required resources in a shorter time, or vice versa, reduce the number of resources used, which allows us to adapt to the desired task quickly;
- Multi-zone regions: allows us to significantly increase the availability of resources and fault tolerance of systems since the entire infrastructure is not assigned to a specific region, which makes storing data and their copies more secure;
- Response and performance: a more comprehensive geographic coverage allows us to minimize latency to the end-user since the service that is closest to the end-user is selected, increasing productivity;
- Pay-as-you-go: the model allows us to get rid of the traditional prepayment for using the service since the cost depends on the number of resources used.

A less popular non-mainstream alternative to IaaS is Bare-metal-as-a-Service ("BMaaS"), currently being marketed by companies such as Intel and IBM. This

service provides lower-level management than traditional IaaS. In BMaaS, resources are also provided upon request and bills on a pay-as-you-go basis, just like IaaS. The main difference from IaaS is that this model does not provide the end-user with access to cloud computing and storage but provides direct access to the underlying equipment. This approach provides almost complete control over the used hardware, which can be helpful in some tasks. The big plus of this model is that it provides access to hardware, and not virtual space, as in the case of other approaches, which provides the most significant potential performance, which is extremely important for computing cases like HPC and GPU computing, analytics, high-load database and more.

When comparing similar IaaS and BMaaS models compared to the rest, they are not competing, and each of them is suitable for a specific task and a specific use case, and we cannot say which one is better or worse.

5. Conclusion

This paper discusses the current models for distributing services such as IaaS, SaaS, and PaaS, also less popular and similar to the IaaS model - BMaaS. A detailed analysis of the above services allows us to come to the following conclusion about the advantages and disadvantages of each of them:

- IaaS: is one of the most scalable services, allows you to select and deploy the infrastructure for the required task, as it provides a lower-level management. Of the disadvantages, it is worth emphasizing that a higher level of entry and suitable skills are required to work with the service;

- PaaS: provides the best solution for a specific task, such as data storage and management, also allows us to increase the necessary capacity at any time, which is useful for fast-growing projects. Of the shortcomings, it is worth noting that in most cases there are difficulties when migrating from one provider to another, with data transfer;

- SaaS: has a high number of abstraction levels, which will allow us to quickly deploy infrastructure for simple and trivial tasks. The disadvantages include the fact that when expanding the service on this infrastructure, problems begin to arise with scalability and the transition to another, lower-level service.

After weighing all the advantages and disadvantages, we came to the conclusion that the most attractive service for processing large amounts of data, namely aerospace images, is IaaS. This service allows us to use the necessary infrastructure as needed, and scalability allows us to select a configuration depending on the task.

Further exploration could be to deepen the use of the different models and decompose their features in more detail, to represent areas of use more directly and in more detail, and to create new sub-models that could cover different needs in more detail.

REFERENCES

1. What is IaaS (Infrastructure as a Service)? Google Cloud. Retrieved from: <https://cloud.google.com/learn/what-is-iaas/>. (last accessed: 11.04.2021).
2. Oracle Cloud Infrastructure (OCI). Retrieved from: <https://www.oracle.com/cloud/>.
3. Types of Cloud Computing. Amazon AWS. Retrieved from: <https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>.
4. Azure infrastructure as a service (IaaS). Retrieved from: <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-azure/iaas/>.
5. What is IaaS (Infrastructure-as-a-Service). IBM Cloud Education. Retrieved from: <https://www.ibm.com/cloud/learn/iaas>.
6. Greg Deckler. CLOUD VS. ON-PREMISES COSTS. The Critical Factors Every Exec Needs to Consider. Fusion Alliance. 2016. 3.
7. Market Leadership - Artificial Intelligence (Chipsets) Market. Retrieved from: <https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/artificial-intelligence-chipset-market.asp>.

Received 15.02.2022.

Accepted 17.02.2022.

Дослідження ефективності використання ІТ-інфраструктури як сервісу для хмарних обчислень

З ростом ринку інформаційних технологій і постійним збільшенням попиту, компанії почали нести безпрецедентне навантаження на власну інфраструктуру, намагаючись виправдати зростаючі очікування клієнтів. Безпечні, надійні і швидкі послуги - є основним пріоритетом для компаній, які в значній мірі намагаються виправдати очікування своїх клієнтів і підлаштовуються під постійні зміни на ринку послуг. З постійними спробами збільшення власних обчислювальних потужностей, розширенням інфраструктури і простору для зберігання даних, компанії все частіше виявляють, що витрати на розробку і обслуговування надійної, безпечної і в той же час масштабованої інфраструктури є непомірно великими.

Для того щоб впоратися з проблемами придбання і підтримки власних інфраструктурних рішень, компанії можуть скористатися готовими рішеннями, такими як хмарні обчислення. Хмарні обчислення - є швидкозростаючою галуззю, яка дозволяє компаніям не загострювати увагу на розширенні власної локальної інфраструктури і, замість цього, перейти на використання готових інтернет-сервісів. Постачальники, які займаються

хмарними послугами, надають доступ до зберігання та обробки даних, а також програмного забезпечення за доступними і динамічним цінами, що дозволяє компаніям заощадити за рахунок впровадження хмарних рішень. Хмарні сервіси надають різні моделі обслуговування, кожна з яких здатна задовольнити певний набір вимог і потреб бізнесу. До основних моделей послуг належать такі як «Інфраструктура як сервіс» (IaaS), «Програмне забезпечення як сервіс» (SaaS) і «Платформа як сервіс» (PaaS) особливості і недоліки яких варіюються і взаємозамінні, що дозволяє підібрати більш відповідну модель.

У роботі проведено дослідження існуючих рішень і засобів, а також надані переваги і недоліки використання того чи іншого рішення для різних потреб і виділено саме універсальне рішення, що підходить під більшість запитів. В ході дослідження наведені найпопулярніші на даний момент рішення, пов'язані з хмарними обчисленнями і виконаний аналіз їх ключових особливостей. Найбільш потужним та привабливим сервісом для обробки великого обсягу вхідних даних, зокрема космічних знімків, є IaaS. При його використанні забезпечується висока швидкість роботи та доступність ресурсів, адаптація до поставленої задачі, безпечність даних за рахунок розподіленого зберігання та обробки, що дозволяє збільшити продуктивність та мінімізувати затримку для кінцевого користувача.

Солдатенко Дмитро Володимирович – аспірант кафедри інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна - д.т.н., професор, завідувача кафедрою інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Soldatenko Dmytro – PhD Aspirant, Department of information technology and systems of the Ukrainian state University of science and technologies.

Gnatushenko Viktorija - Doctor of Engineering's Sciences, Professor, Head of Department of information technology and systems of the Ukrainian state University of science and technologies.

АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ТОНКОЇ ПЛАСТИНИ ЗАНУРЕНОЇ У РІДИНУ

Анотація. В статті розглядається питання взаємодії між потоком рідини і тонкими металевими конструкціями. Метою роботи є дослідження поведінки пластини, зануреної в рідину, що здійснює вимушені коливання під дією прикладеного навантаження. В ході роботи необхідно досліджувати механізм поведінки даної взаємодії та визначити приєднані маси рідини. Знання приєднаних мас допомагає оцінити вплив рідини на конструкції. Рішення завдання про змушені коливання плоскої пластини в рідині допоможе в подальшому перейти до дослідження взаємодії більш складних об'єктів з водою.

Ключові слова: взаємодія пластини та рідини, вимушені коливання, ANSYS.

Вступ. Велика маса коливальної системи може служити причиною виникнення вібрацій інженерних конструкцій, що в свою чергу може призвести до незворотних наслідків. У свою чергу великі коливання конструкції збуджують потік рідини, що оточує конструкцію, таким чином, що дана взаємодія носить руйнівний характер для інженерних споруд. Взаємодія між потоком рідини і конструкціями стало особливо важливим у світлі появи нових матеріалів, використовуваних для більш легких конструкцій, так як полегшені конструкції більше схильні до взаємодій з потоком рідини, а, отже, більш легкі конструкції краще піддаються руйнуванню під дією потоку рідини. В цілому конструкції найчастіше більш чутливі до динамічного порушення, тим не менш, загальна поведінка конструкції під впливом збудження, викликаного потоком, складно передбачити.

В цивільній інженерії більшість конструкцій схильні до впливу потоків повітря і рідини. Таким чином, загальні цивільні споруди повинні відповідати критеріям безпеки, таким як статичний опір і наявність безпечного спектра реакцій на вплив від дорожнього транспорту, землетрусів і т.д. Як наслідок, інженерам відтепер необхідно дотримуватися допустимих правил проектування і оцінки безпеки конструкцій, що піддаються вібраціям. Однак складність більшості явищ взаємодії рідини і конструкції означає, що все ще дуже важко ви-

значити надійні і точні оцінки ризику, які будуть застосовні до широкого діапазону експлуатаційних станів.

Відсутність універсальної і простої моделі взаємодії рідини і конструкції (далі FSI = fluid-structure interaction) спонукало створити область експериментального і чисельного дослідження коливань, викликаних потоком. Сьогодні чисельне моделювання підсилює вплив в інженерії, оскільки забезпечує важливі локальну і глобальну оцінку параметрів, таких як напруга і деформація. Даний інструмент дозволяє інженерам збільшувати подальше розуміння фізичних механізмів пов'язаних із взаємодією рідини і конструкції.

Метою роботи є дослідження поведінки пластини, зануреної в рідину, що здійснює вимушені коливання під дією прикладеного навантаження. Необхідно досліджувати механізм поведінки даної взаємодії та визначити приєднані маси рідини. Знання приєднаних мас допомагає оцінити вплив рідини.

Викладення основного матеріалу дослідження. Визначення приєднаних мас складається з декількох важливих кроків: визначення моделі використовуваної рідини, опис руху конструкції і оцінки сил рідини, що викликають цей рух. Етап оцінки включає в себе обчислення чутливості сил рідини до модів руху і деформації твердого тіла з базових рівнянь моделі рідини. Це може бути досягнуто за допомогою наближених рішень. Якщо застосовується модель рідини і область течії не надто складні, то приєднані маси можуть бути визначені за допомогою аналітичних рішень, які представлені в довіднику Короткіна [1] для суднових конструкцій.

Для можливості проведення аналітичного дослідження припускаємо, що розглянута рідина є нев'язкою, незтискаємою, а також нехтуємо наявністю вихорів [2]. Рівняння нерозривності $\nabla \cdot \boldsymbol{v}_F = 0$ і умова відсутності обертання $\nabla \times \boldsymbol{v}_F = 0$, де \boldsymbol{v}_F - вектор швидкості потоку рідини, дозволяють ввести потенціал Φ , який забезпечує співвідношення $\boldsymbol{v}_F = \nabla \Phi$ і призводить до рівняння Лапласа [1] для потенційного потоку на всьому об'ємі рідини, V

$$\Delta \Phi = 0 \tag{1}$$

і до граничних умов Неймана на поверхні розділу рідини і конструкції, S

$$(\nabla \Phi - \dot{w}_S) \cdot \boldsymbol{n}_S = 0,$$

де вектор нормалі \boldsymbol{n}_S спрямований назовні від області рідини, а \dot{w}_S - вектор переміщення конструкції. Аналогічно, визначимо умова непроникності уздовж зовнішньої поверхні кордону рідини Σ

$$\nabla \Phi \cdot \boldsymbol{n}_\Sigma = 0.$$

За допомогою рівняння Бернуллі для несталих потоків під час відсутності об'ємних сил маємо

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \|\nabla \Phi\|_2^2 + \frac{p}{\rho_F} = 0,$$

тиск рідини може бути представлено як $p = -\rho_F \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho_F \|\nabla \Phi\|_2^2$, де ρ_F - щільність рідини.

Тут швидкість на кордоні розділу рідини і конструкції, S може змінюватися через коливальну поведінку конструкції, яке може бути представлено лінійною комбінацією руху твердого тіла і гнучких мод.

Рух поверхні розділу рідини і конструкції S , яке є еквівалентом руху зовнішній поверхні конструкції, може бути представлено за допомогою розкладання переміщень в просторі (поверхнева координата s) і в часі t , використовуючи базис лінійних незалежних мод деформацій [3]

$$w_S(s, t) = \sum_k u_k(s) \cdot g_k(t),$$

де $u_k(s)$ - вектор координатних функцій, а $g_k(t)$ - відповідний вектор узагальнених координат.

Оскільки використовуються рівняння для обраної моделі рідини лінійні, потенціал швидкостей рідини, пов'язаний з кожною формою коливання зовнішньої поверхні конструкції, може бути представлений за допомогою суперпозиції і [3]

$$\Phi(x, y, z, t) = \sum_k \Phi_k(x, y, z) \cdot \dot{g}_k(t),$$

а рівняння Лапласа (1) вирішується тепер для змінних Φ_k з наступними граничними умовами

$$(\nabla \Phi_k - u_k \dot{g}_k) \cdot n_S = 0 \text{ на } S \text{ та } \nabla \Phi_k \cdot n_\Sigma = 0 \text{ на } \Sigma.$$

Для переходу до вимушених коливань пластини, для початку необхідно визначити частоту вільних коливань пластини в рідині. Якщо визначення частоти вільних коливань пластини в повітрі не складає труднощів, то визначення частоти вільних коливань пластини в воді стає нетривіальним завданням. Для знаходження власних частот коливань пластини в воді розглянемо рішення наступної пов'язаної задачі в динамічній постановці: на одну з поверхонь пластини прикладається початковий тиск величиною 250 Па, що діє на пластину протягом 0,2 с. Розглядається пластина, жорстко зафіксована на дні контейнера, який заповнений водою. Габарити пластини: висота пластини 1 м, товщина – 0,005 м, ширина - 0,4 м. Матеріал пластини - сталь. Механічні характеристики

стали: модуль пружності, $E=210$ ГПа; щільність, $\rho = 7850$ кг / м³; коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,3$. Властивості води: щільність, $\rho = 1000$ кг / м³; коефіцієнт динамічної в'язкості, $\mu = 0,0008899$ Па·с.

Для вирішення завдання про коливання пластини в воді під дією імпульсного навантаження використовується чисельна модель FSI. На рисунку 1 представлені розміри простору рідини навколо пластини.

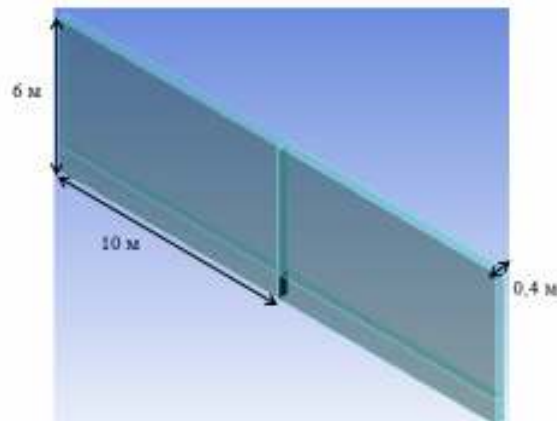
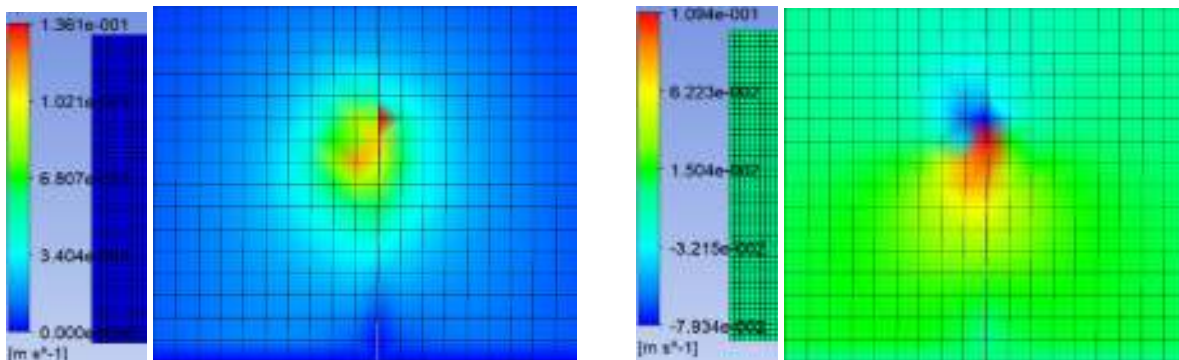


Рисунок 1 - Розміри простору рідини

Як можна бачити на рисунку 1, розрахункова модель складається з двох областей, а саме: з пластини і рідини навколо неї, тому розрахункова область включає в себе як пластину, так і обсяг рідини навколо. Час моделювання процесу коливань пластини в воді встановлюється рівним 2 с, для того щоб простежити загасання коливань. Всі розрахунки проводимо у розрахунковій програмі ANSYS CFX [4].

На рисунку 2 представлено результати розподілів поля швидкості потоку рідини та компонент швидкостей потоку уздовж осей x .



Скалярне поле швидкості потоку рідини

Швидкість потоку вздовж осі x

Рисунок 2

На рисунку 3 наведено розподіл переміщень верхнього краю пластини вздовж осі x при коливаннях у воді. На графіку чітко спостерігається загасання амплітуди коливань пластини. Це відбувається через те, що рідина має властивість в'язкості, яка чинить опір руху пластини.

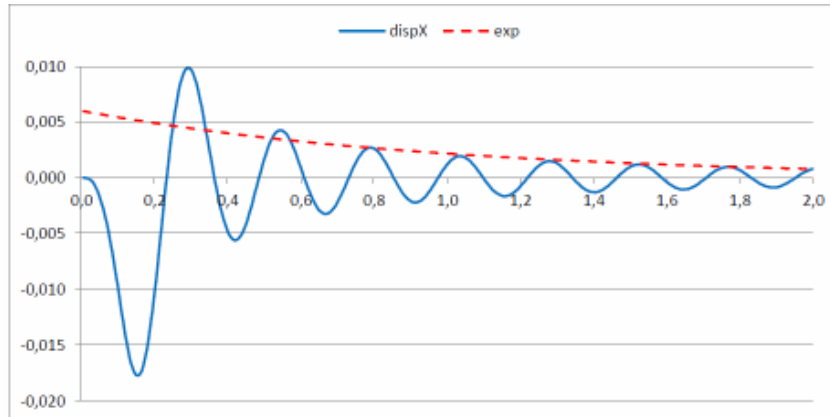


Рисунок 3 – Переміщення верхнього краю пластини вздовж осі x

З графіка на рисунку 3 визначимо частоту затухаючих коливань пластини в воді. Звернемо увагу на те, що даному графіку спостерігається перехідний і сталий режим коливань. Всі необхідні величини визначаються нами на сталому режимі коливань пластини.

Диференціальне рівняння затухаючих коливань має вигляд

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (2)$$

Для визначення першої частоти вільних коливань пластини в воді скористаємося такою формулою

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2}, \quad (3)$$

де ω - частота затухаючих коливань пластини в воді, ω_0 - частота власних коливань пластини в воді без урахування демпфірування, n - коефіцієнт загасання коливань.

Значення частоти затухаючих коливань пластини в воді, ω , визначається за допомогою періоду затухаючих коливань, значення T визначається з графіка згасаючих коливань. $T = 0,26$ с, таким чином, $\omega = 24,165$ рад / с.

Коефіцієнт загасання n чисельно дорівнює зворотному часу, за яке амплітуда коливань зменшується в e раз. Час життя коливань τ - це проміжок часу, протягом якого амплітуда коливань зменшується в e раз:

$$\frac{A(t)}{A(t + \tau)} = \frac{A_0 e^{-nt}}{A_0 e^{-n(t+\tau)}} = e^{n\tau} = e.$$

Таким чином, коефіцієнт загасання n дорівнює $n = \frac{1}{\tau}$ значення τ , визначається з графіка згасаючих коливань, і становить $\tau = 0,98 \text{ c}$, отже, $n = 1,0204$.

Знаючи величину коефіцієнта загасання n , визначимо першу частоту вільних коливань пластини в воді, ω_0 , за формулою (3). Після обчислень частота власних коливань води має значення $\omega_0 = 24,237 \text{ рад/с}$. Відзначимо, що на рисунку 3 крім переміщення верхнього кінця пластини вздовж осі x представлений графік експоненти $A_0 e^{-nt}$, який описує загасання коливань.

Також за допомогою модального аналізу була визначена перша частота вільних коливань пластини в повітрі. Значення першої частоти вільних коливань пластини в повітрі необхідне для оцінки приєднаних мас рідини. На рисунку 4 наведені результати модального аналізу пластини в повітрі.

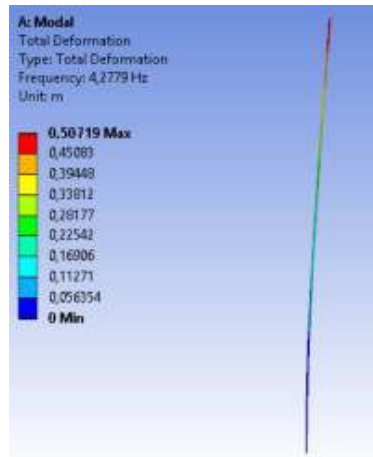


Рисунок 4 - Результат модального аналізу пластини в повітрі

Виходячи з модального аналізу коливань пластини в повітрі, перша власна частота має значення $\omega_0^* = 4,2779 \text{ 1/с} = 26,879 \text{ рад/с}$.

Далі розглядаємо вимушені коливання пластини в рідині під дією періодичних навантажень з різною частотою. Для цього необхідно побудувати амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) коливань пластини в воді в залежності від частоти вимушеного навантаження. З теорії вимушених коливань відомо, що резонанс, тобто різке зростання амплітуди коливань, спостерігається в тому випадку, коли частота вільних коливань конструкції збігається з частотою вимушеного навантаження. Таким чином, необхідно вирішувати задачу FSI для пластини в воді під дією періодичного навантаження n число раз для побудови АЧХ. За АЧХ визначаємо резонансну частоту коливань пластини.

На рисунку 5 представлена АЧХ для розглянутого випадку, побудована по 30 точках. Періодичне навантаження прикладається на одну зі сторін пластини в наступному вигляді $P = P_0 \sin(\omega_i \cdot t)$, де $P_0 = 250$ Па - початковий тиск, ω_i - частоти періодичної навантаження, $i = 1 \dots 30$.

З наведеної на рисунку 5 АЧХ можемо визначити резонансну частоту коливань пластини в воді. У нашому випадку резонансна частота - це частота, на якій досягається максимальна амплітуда коливань пластини. Таким чином, резонансна частота коливань пластини в воді має значення $\omega_p = 20,23$ рад/с.

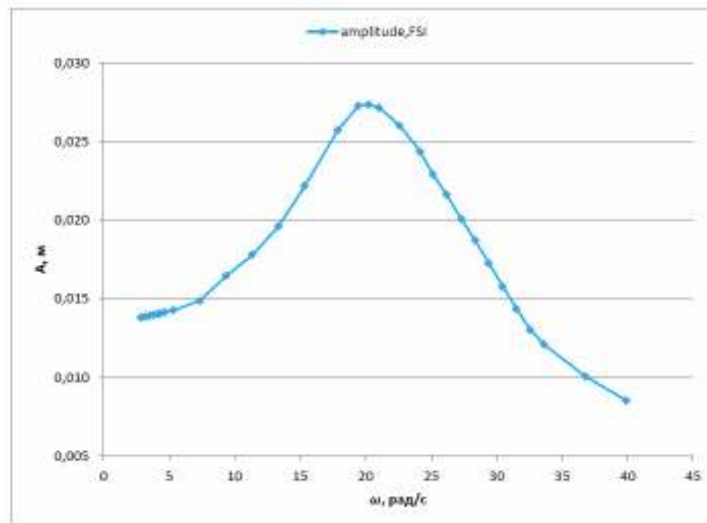


Рисунок 5 - АЧХ коливань пластини в воді під дією періодичної навантаження

Як зазначалося вище, знання власних частот коливань пластини в повітрі і воді необхідні для оцінки приєднаних мас рідини навколо пластини при її коливаннях. Оцінка проводиться за наступною формулою [2]

$$\omega_0^2 \approx \frac{\omega_0^{*2}}{1 + \frac{\lambda}{m}}, \quad (4)$$

$$\lambda = \left(\frac{\omega_0^{*2}}{\omega_0^2} - 1 \right) \cdot m,$$

де ω_0^* - перша частота вільних коливань конструкції в повітрі, ω_0 - перша частота вільних коливань конструкції у воді, m - маса конструкції. У нашому випадку $m = 15,7$ кг. Підставивши всі отримані значення змінних в формулу (4), отримаємо значення приєднаної маси води пластини при коливаннях під дією імпульсного навантаження $\lambda = 3,61$ кг.

Оскільки завдання FSI в силу своєї природи досить ресурсомісткі, то рішення n числа таких задач про коливання пластини в рідині під дією різних

навантажень, щоб дослідити напружено деформований стан коливальної системи, не дуже зручний метод. Виникає питання, чи можна уникнути вирішення завдань FSI і знайти більш простий спосіб вирішення завдань про коливання конструкцій в рідині. Оскільки відома оцінка приєднаних мас води пластини, то можна припустити, що дана приєднана маса води розподілена навколо пластини рівномірно і з урахуванням цього факту можемо виконати гармонійний аналіз. Але слід зазначити, що маса пластини в силу наявності приєднаної маси води збільшилася на величину λ , тобто

$$m_{\text{нов}} = m + \lambda = 15,7 + 3,61 = 19,31 \text{ кг.}$$

У зв'язку з тим, що обсяг пластини постійний, а маса змінилася, змінилася і щільність пластини

$$\rho = \frac{m_{\text{нов}}}{V} = \frac{19,31}{0,002} = 9655 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тепер можемо провести гармонійний аналіз пластини з новою щільністю матеріалу і побудувати АЧХ коливань пластини з урахуванням наявності приєднаної маси води.

Як було зазначено вище в силу наявності в'язкості вода демпфує амплітуду вільних коливань пластини. Таким чином, для того щоб можна було порівнювати результати серії завдань FSI і гармонійного аналізу, останній необхідно моделювати з урахуванням демпфірування в моделі. Демпфірування для розрахункової моделі гармонійного аналізу будемо визначати за допомогою констант Релея α і β . Матриця демпфірування $[C]$ розраховується з використанням цих констант у вигляді множників для матриці мас $[M]$ і матриці жорсткості $[K]$

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K].$$

Коефіцієнт α має на увазі під собою наявність в системі інерціального демпфірування (в'язкого тертя). Коефіцієнт β описує демпфірування, пов'язане з енергетичними втратами (конструкційну), зумовленими силами сухого (кулонівського) тертя. Значення коефіцієнтів α і β зазвичай прямо не визначаються, але розраховуються за коефіцієнтами демпфірування ξ . ξ - відношення фактичного демпфірування до критичного демпфірування для конкретного режиму вібрації. Критичне демпфірування визначається як граничне значення між коливальною і не коливальною поведінкою, де коефіцієнт демпфірування одиниці. Якщо ω_k - власна частота моди коливань k , то α і β задовольняють наступному співвідношенню

$$\frac{\alpha}{2\omega_k} + \frac{\beta\omega_k}{2} = \xi.$$

В нашому випадку коефіцієнт демпфірування має значення $\xi = 0,0422$.

Врахуємо в чисельній моделі гармонійного аналізу інерційне демпфірування (в'язке тертя), тобто, нехтуючи величиною коефіцієнта β , визначимо значення коефіцієнта α у вигляді $\alpha = 2\omega_k \xi$.

У нашому випадку досліджується перша мода коливань пластини, тому для визначення коефіцієнта α скористаємося першою частотою коливань пластини в воді, що має значення $\omega_0 = 24,237 \text{ рад/с}$. В результаті обчислень коефіцієнт α приймає значення $\alpha = 2,046$. Використовуючи отримані параметри демпфірування в чисельній моделі гармонійного аналізу з урахуванням приєднаної маси води, отримаємо АЧХ коливань і порівняємо це з АЧХ, отриманої рішенням серії завдань FSI для вимушених коливань пластини в воді. Результати гармонійного аналізу наведені на рисунку 6.

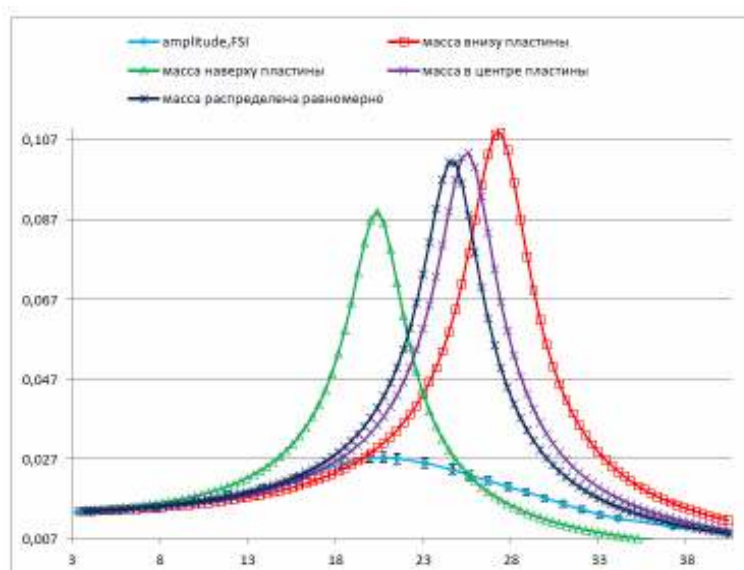


Рисунок 6 - Порівняння АЧХ, отриманої за допомогою серії завдань FSI і АЧХ, отриманих з допомогою гармонійного аналізу для різних варіантів розподілу приєднаної маси води

Крім рівномірного розподілу приєднаної маси води навколо пластини були розглянуті випадки, коли залучена маса поміщається наверх, вниз і в центр пластини.

Висновки. Вочевидь, що в реальності при коливаннях пластини в воді більший обсяг приєднаної маси буде накопичуватися нагорі пластини. З графіка на рисунку 6 видно, АЧХ при розподілі приєднаної маси води зверху пластини

має резонансну частоту $\omega_{p1} = 19,89 \text{ рад/с}$ близьку до резонансній частоті для АЧХ, побудованої методом вирішення серії завдань FSI, $\omega_p = 20,23 \text{ рад/с}$. Таким чином, для гармонійного аналізу передбачається використовувати даний розподіл приєднаних мас води. Також можемо зробити висновок про те, що метод гармонійного аналізу з додаванням приєднаної маси води можна використовувати на низьких власних частотах коливань до резонансу. На всіх інших власних частотах коливань використовувати метод гармонійного аналізу з урахуванням приєднаної маси води не рекомендується. Розбіжність АЧХ спостерігається через те, що в реальності вода не розподілена по пластині рівномірно, а знаходиться в постійному русі навколо пластини.

Рішення завдання про змушені коливання плоскої пластини в рідині допоможе в подальшому перейти до дослідження взаємодії більш складних об'єктів з водою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Короткин А.И. Присоединенные массы судна: Справочник – Ленинград: Судостроение, 1986. – 312 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / под редакцией Л.Г. Лойцянского. – Москва: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1974. – 712 с.
3. Zilian A. (2014) Modelling of Fluid-Structure Interaction – Effects of Added Mass, Damping and Stiffness. In: Irschik H., Belyaev A.K. (eds) Dynamics of Mechanical Systems with Variable Mass. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 557. Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1809-2_5
4. Обчислювальна гідродинаміка ANSYS. Інженерна Компанія ТЕХНОПОЛІС, Київ – 2021. Режим доступу https://tpolis.com/ansys/files/ansys_gidrodinamic.pdf

REFERENCES

1. Korotkin A.I. Prisoedinennye massy sudna: Spravochnik – Leningrad: Sudostroenie, 1986. – 312 s.
2. Shlihting G. Teoriya pogranichnogo sloya / pod redakciej L.G. Lojcyanskogo. – Moskva: Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury izdatelstva «Nauka», 1974. – 712 s.
3. Zilian A. (2014) Modelling of Fluid-Structure Interaction – Effects of Added Mass, Damping and Stiffness. In: Irschik H., Belyaev A.K. (eds) Dynamics of Mechanical Systems with Variable Mass. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 557. Springer, Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1809-2_5

4. Obchislyvalna gidrodinamika ANSYS. Inzhenerna Kompaniya TEHNOPOLIS, Kiyiv – 2021. Rezhim dostupu https://tpolis.com/ansys/files/ansys_gidrodinamic.pdf

Received 14.02.2022.

Accepted 17.02.2022.

Analysis of a computer model of the behavior of a thin plate immersed in a liquid

Modeling the oscillation of a steel plate in water under the action of loads to assess the safety of the structure is an urgent task of modern times in the design of structures. The aim of this work was to study the behavior of a plate immersed in a fluid that makes forced oscillations under the action of an applied load; the mechanism of behavior of this interaction and the determination of the connected masses of the fluid. Knowledge of the connected masses helps to assess the effect of the liquid.

In this work, the oscillations of a steel plate in water under the action of two types of loads were studied. For the harmonic analysis of the oscillations of the plate, our own frequency response was constructed, which was compared with the frequency response acquired by the method of solving a series of FSI problems. From the comparison of the obtained frequency response it is concluded that it is possible to use harmonic analysis to study the stress-strain state of the plate during its oscillations.

Since FSI problems are quite resource-intensive due to their nature, solving a number of such problems about plate oscillations in a fluid under various loads to study the stress-strain state of an oscillatory system is not a very convenient method. The question arises as to whether it is possible to avoid solving FSI problems and to find a simpler way to solve the problems of vibration of structures in a fluid. Since the estimation of the attached water masses of the plate is known, it can be assumed that this attached water mass is distributed around the plate evenly and in view of this fact we can perform a harmonic analysis.

Due to the viscosity, water dampens the amplitude of free oscillations of the plate. Thus, in order to be able to compare the results of a series of FSI and harmonic analysis problems, the latter must be modeled taking into account the damping in the model.

The method of harmonic analysis with the addition of the attached mass of water can be used at low oscillation frequencies. At all other oscillation frequencies it is not recommended to use the method of harmonic analysis taking into account the connected mass of water.

Дмитрієва Ірина Сергіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій.

Стовпченко Іван Володимирович – старший викладач кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Dmytriieva Iryna – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Information Technologies and Systems, Institute of Industrial and Business Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology.

Stovpchenko Ivan - Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

V.P. Ivashchenko, G.G. Shvachych, O.V. Ivashchenko, L.F. Sushko

HIGH- PERFORMANCE MULTIPROCESSOR SYSTEMS

Abstract. The paper is devoted to the modeling of high-performance multiprocessor architecture for data processing systems used to solve problems with an expandable calculations' area. The proposed system is characterized by high reliability and high energy efficiency. The system contains a separate reconfigurable network for the exchange of data between computing nodes, managed switches. The system also provides network booting nodes and redundancy mechanism of key components.

Keywords: multi-processor computer system, managed switches, reconfigurable network, compute nodes, memory buffers, components of a computer system.

Problem statement. The need in high-performance computing in the world belongs to the fundamentals of the strategic potential and has important scientific, technological and national economic significance. To date, there are two basic methods of increasing productivity and performance of computing systems: the use of more advanced element base; parallel execution of computational operations.

The first method involves a very significant investment. Experience of the firm *CRAY*, which has created a supercomputer based on gallium arsenide showed that the development of a fundamentally new element base for high performance computing systems is a daunting task even for such big-name corporations. The second method dominates after the announcement of the government program "*Accelerated Strategic Computing Initiative*" (*ASCI*) in the United States.

Given the above, we note that in recent years the process of creating high-performance systems developed mainly in one direction: combining many parallel processors for the solution of a large and complex problem [1 – 5]. In this regard, one often identifies today a concept between a supercomputer and parallel (multiprocessor) computer system. To build supercomputers one takes serial microprocessors provided with their local memory and connected via a communications medium. This architecture has many advantages: if necessary, one can add processors, increasing the productivity of the cluster; if financial resources are limited or the necessary computing power is known in advance it is easy to select

the desired system configuration. The name of such systems emphasizes theoretically unlimited scalability devices of this class.

Analysis of ways to develop high-performance systems shows that the real turning point in mastering the parallel computing technologies can be achieved in the developing of additional (actually base) level in the hierarchy of capacities of hardware multiprocessor computing systems *MPP*-architecture or the personal computing clusters. Thus, it is proposed to establish the foundation of the pyramid hardware technology for parallel computing as personal computing clusters similar to the existing instruments with traditional technologies in the form of sequential computations as the *PC*. As computers have ceased to be exotic after widespread of the *PCs* as well mastering techniques of parallel computing is only possible as a result of widespread use of the *PCs*. In this case, if the beginning of the common use of *PCs* belongs to the other half of eighties, the mid-first decade of XXI century should be considered the beginning of the spread of personal calculable clusters in the form of multiprocessor computer systems with distributed memory. Scope of these systems' application is very wide: mastering the parallel computing technology, creation and debugging of parallel programs, including problem-oriented packages and libraries, as well as run of the model developed software.

This paper shows that the problems that arise when developing parallel computing systems usually are paramount and require in-depth study and research. Indeed, a distributed (parallel) computer modeling covers the entire spectrum of modern computing: supercomputers, cluster computing systems, local and wide area networks, etc. In addition, distributed modeling permits to solve problems that require large amounts of *CPU* time to integrate mathematical models processed on different (including geographically distant) computer systems. In this regard the problem of designing computing clusters, as well as the development of numerical algorithms for parallel processors are relevant and paramount.

The work is devoted to the modeling of high-performance multiprocessor architecture of data processing systems used to solve problems with the expanding field of computing. At the same time there is difference grid dimension M ; time of computing the problem by using a single-processor system is determined by the value t . This parameter is not determinative. The principle is increasing of the grid size, wherein more than one that may be processed in the memory of one processor. This procedure is decisive for a more detailed calculation or getting some new effects of the investigated processes. To solve this class of problems we propose multiprocessor system which is characterized by high reliability and high energy

efficiency. The technical result is achieved due to the fact that the system contains a separate re - configured network for the exchange of data between computing nodes, more manageable and running in parallel switches, the intermediate buffer memory switches. Such a system also provides nodes' network booting and the mechanism to reserve key components.

Analysis of recent research and publications. In modern conditions the cluster systems are constructed by use of computing nodes based on standard processors connected by high-speed system network (interconnect), and, usually, by auxiliary and service networks. However, in recent years the leaders in manufacturing hardware computer technology offer a form factor: in particular, the companies *IBM*, *LinuxNetworx* and others have at their disposal a cluster solution built on the basis of so-called blade technology. In the practice of parallel computing the following problem is considered: there is difference grid dimension M ; computation time when using a single-processor system is determined by the value t . This parameter is a decisive and critical. Principle is to reduce the time for solving the problem [6]. Nevertheless, it should be noted the following disadvantages of a multiprocessor system:

1. Low real productivity solutions of strongly coupled tasks .

This disadvantage due to the fact that the peak performance of the compute node is equal to 37.28 GFLOPS, and the communication environment for all nodes in the cluster system could exploit one Gigabit network.

2. The high cost of the system.

Lack of is predetermined by application processors specialized components, housings format $1U/2U$, specialized air conditioning systems, high-power UPS systems, and more.

3. High power consumption and high operating costs of the system. The reason is the need for high energy consumption for infrastructure the entire cluster system (8 kVA, 10 kVA), which increases the cost of holding the cluster. To create conditions for the reliable operation of the cluster we need to reserve the necessary components to form a cluster, and this, in turn, increases the cost of operating a cluster system.

4. Complexity of the cluster operating.

The reasons for this lack can be explained by two factors. Firstly, there is a need to retain staff of certified specialists for adjustment, operation and maintenance of the cluster system. Second, the operating system is installed on each of the compute nodes, so in the event of failure or the need for changes in the system or software

one has to migrate each node separately. All this leads to an increase in system downtime [2, 7, 8].

It is also known that the efficiency of the parallel computations significantly depends on many factors, one of the most important is the specificity of the data transfer between neighboring nodes of a multiprocessor system, because this slowest part of the algorithm can negate the effect of increasing the number of processors used. These questions considered to be critical in the process of modeling of a wide class of problems with the help of modular multiprocessor systems and today these are being addressed by many researchers.

In practice of parallel computing the known module of a high effective multiprocessor system on high alert contains one master node (*MNode001*) and five slave-computing nodes (*NNode001*, *NNode002*, *NNode003*, *NNode004*, *NNode005*), three controlled switch (*SW1*, *SW2*, *SW3*), intermediate buffer memory switches, re-configured network for the data exchange between computing nodes, virtual LANs, the redundancy mechanism of key components, and also provides network booting nodes [9]. Commutative network multiprocessor computing system operates in two modes: having topology of the star type or of the circle one. This cluster system is based on blade technology. It is a densely packed module processor of a blade type installed in the rack. The rack inside contains nodes, devices for efficient connection of the components of the control equipment internal network systems, etc. Each blade cluster runs under its copy of the standard operating system. The composition and output nodes may be different within the same module, and a homogeneous unit is considered in this case. The interaction between the nodes of a cluster system is installed using the programming interface, i.e. specialized function libraries. In designing the multiprocessor system special attention was paid to the possibility of extension or modification of the cluster in the future.

Among the disadvantages of such a system we can call:

1. Inability to use such a system for solving problems with an expandable calculations' area. The disadvantage is predetermined by the fact that the communication environment for all nodes of a cluster system is designed to use one-gigabit network. In solving problems with an expandable area calculations we will meet the overload of network resources of the system as so the processors will be forced to idle and the system will work only on the organization of the data exchange between its nodes.

2. Low real performance for tightly coupled tasks. This disadvantage is connected in a one-gigabit network latency at which most of the time will be spent for data exchange and synchronization .

3. Limited and specially oriented range of problems that can be solved with the help of such a system. This disadvantage is due to the fact that the solution of problems with using commutative computer network system is based only on the use of two modes. The first mode simulates the network star – topology, the second simulates the circle-topology *t*. These modes are oriented to implement data exchange limit depending on a restricted class of problems solved by the proposed cluster.

4. Limited expandability of a multiprocessor system. The reason for this deficiency is caused by using one-gigabit network, so during expansion of a cluster system the number of its blades will be limited because of an overload of network resources.

Unsolved part of the problem. The existing multiprocessor computing systems are not focused on solving tasks with an expanding field of computing. Acting methods of analyzing the effectiveness of multiprocessor systems do not allow to determine the optimal number of nodes to solve the mentioned above class of problems. At the same time the proper development studies on the analysis of the influence of the network interface on the efficiency of such systems have not acquired. In addition, for evaluating the effectiveness of a computer system the basic analytical relations through the parameters of the studied system are not presented.

The purpose of the study is to provide a multi-module computer system, the real efficiency and productivity of which would peak at solution strongly coupled problems and problems with an expanding field of computing. And in addition, the system must have high reliability and high energy efficiency. Units of the claimed device must be equipped with the help of computer technology of mass production. These solutions allow to design the claimed system in universities, research organizations, research centers. Due to the significant demand for blade configuration systems within the domestic market the further development of blade technology for the construction of the cluster computing system should be acquired.

Main research material presentation

Design features of the multiprocessor system. Multi processor module system includes one master node (*PM001*) and slave-computing nodes (*PN001*, *PN002*, *PN003*, ..., *PN00N*), two controlled switches (*KGI*, *KIB*), intermediate buffer memory

switch *KGI*, reconfigured network for communication between computing nodes, VLANs core redundancy components and also provides a network boot nodes. Commutative multiprocessor computing system operates in six modes: star, circle, ruler, complete graph, grid, lattice closed. These modes have been focused on the implementation of the limit data exchange representing the particular problems which are solved using the proposed system. Figure 1 shows its block-diagram.

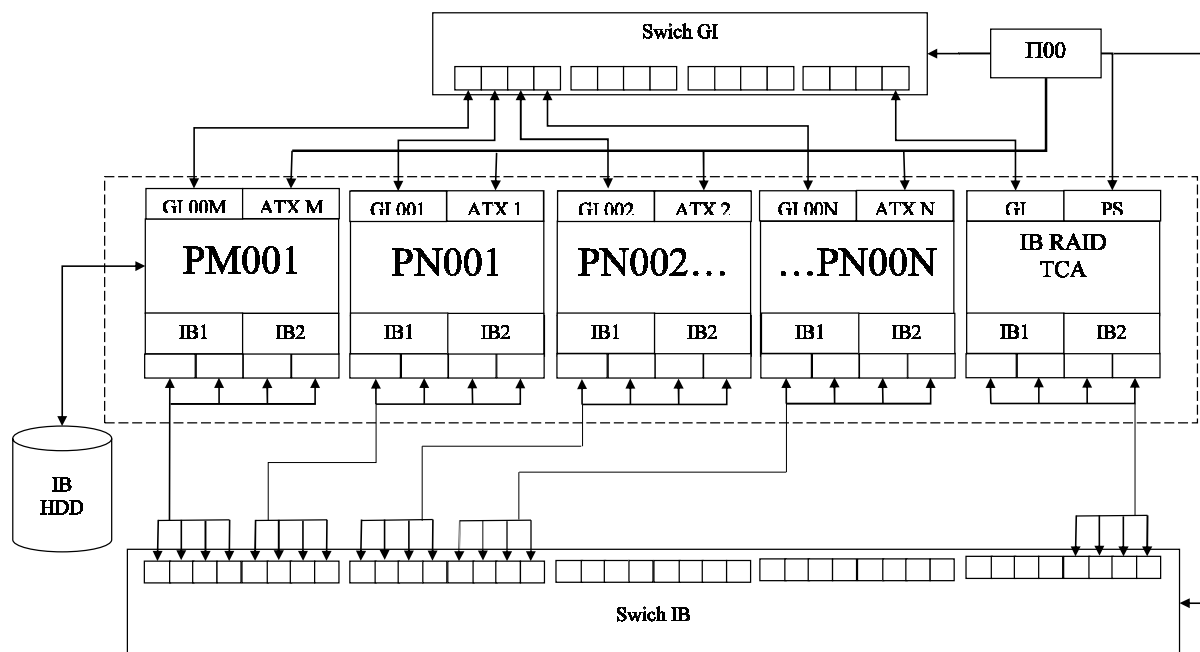


Figure 1 - Block diagram of the multiprocessor system

As a model we chose a single unit which represents a computing cell enclosure. Thus, if necessary, several units can be placed in a single housing; on the other hand such an approach provides a compact, successful cooling and easy access to the sockets and elements of the target board,. The computing system includes a vertical arrangement of motherboards, parallel to each other, the second way corresponds to the idea of "*Blade*" – servers.

After the OS downloading the access to the multiprocessor system can be obtained from the standard network protocols (*telnet, ssh, rsh*), as in the case of a usual *PC*. In this case, for the organization of a supercomputer based on a working *PC* and multiprocessor system we require only a network connection between them which can be arranged with the help of topology "point – to– point."

Features of functioning of a module in the multiprocessor computer system

After the power supply to the power supply master node (*ATXm*) and external signal *START* of control module *P00* we notice the startup and initialization of the master node module system. Loading of operating system directly can be performed

either from the hard disk or *CD / DVD*-devices. After downloading of the operation system the specifically oriented configuration script that sets up the work of *DHCP*-server also runs. In addition the number of computing nodes of the system is determined on this step and, if necessary, there is access to the Internet environment or to an external network. Also the basic parameters are determined. Consistent power supply to (*ATX1 – ATXN*) and initialization of slave-nodes reduces the required power for unit *UPS*, runs all the computing nodes and slave-load operating systems in them. After downloading and debugging of all computing nodes of the cluster the appropriate script is finalized and the system is ready to perform parallel computations.

Master node (*PM001*) through the switch *KGI* provides the direction of data related to the management, diagnosis and downloading of the tasks' conditions. In turn, the slave-nodes respectively to the solving algorithm, implement the mode of computation required. Exchange of data between computing nodes is organized as a separate network with the help of a managed switch *KIB*. To maximize the efficiency of a cluster system, we have to reconfigure the second network structure respectively the specifics tasks. Send / receive data in slave-nodes takes place without buffering using a managed switch *IB*. Intermediate and final results of the calculations are sent to the master node via a managed switch Infiniband *KIB*. In this case, management and transfer of relevant data from the slave-node occurs at using the *AC* adapter *HCA* (*Host Channel Adapters*). Directly data storage for further processing is performed via the *AC* adapter *TCA* (*Target Channel Adapters*).

Features of functioning for a module multiprocessor computer system

At the first stage of the research we consider how to build the interface and what are the main modes of operation. For convenience we note that the computer network system has two main characteristics: bandwidth and latency. The capacity of the computer network is defined with the speed of data transfer between two nodes latency refers to the average time that elapses between a function call and data transfer itself. It is usually spent on addressing information, triggering intermediate network devices and other network situations arising during data transmission.

In general, we note that the capacity and latency not only characterize the work of the cluster, these characteristics also influence on restriction of the class of problems processed by using the cluster. So if the problem involves an intensive exchange of data sent packages having a small volume the cluster equipped with a network interface with a high-latency will spend a lot of time to establish a network

connection, and less time to transfer data between nodes in the system. Under these conditions, the nodes in a multiprocessor system will be idle and parallelization efficiency will be significantly reduced. On the other hand, if data packets are large, the effect of latency on the system efficiency may be reduced due to the fact that the transmission takes considerably more time than the establishment of the connection. In this regard we consider the ramifications of choosing the network interface for the design of a modular multiprocessor system and following items describe each element of equipment and features of its functioning.

Network cables. For network management, diagnostics and loading we use the network technology *GigabitEthernet*. It introduces standard *1000BASE-T*, *IEEE 802.3ab* which uses a twisted pair category 5e for communication. *InfiniBand* copper technology applicable in the switching network communication between slave-nodes of a multiprocessor system.

AC adapter. For this purpose, you can use network cards that supports the standards *InfiniBand*. In the design of the proposed multi-processor systems priority was given to the adapter company *Mellanox MHQH29C-XTR*. Network cards from this company have significant affect on the performance of network communications. Each blade of the processor system includes four dual-port adapters (*IB1 – IB4*, figure 1). The main features of these adapters are: such adapters with support for the virtual protocol *VPI (Virtual Protocol Interconnect)* provide the most flexible and high-performance network connections for high-performance computing systems. Thanks to this multiprocessor system offers high performance, high-speed access to the network and storage resources, guaranteed bandwidth and low latency.

In addition, the adapter of *MHQH29C-XTR* type support data rates up to 10 Gbit / s per channel and may contain the serial control interface. Copper cable interface has the same performance as an optical one but has a lower price.

Switch. This is one of the most important devices of the network interface in a multiprocessor system which implements the aggregation and switching network channels. We use the 36-port switch *Grid Director 4036* type of *Mellanox (Voltaire)* company with the capacity equal to 40 Gbit / s In the proposed multi-processor system.

This device relates to switches intended for the construction of high-performance multiprocessor systems based on copper compounds. They maintain a standard set of network technologies: in particular virtual network traffic

prioritization, port trunk, multicast filtering, scaling to thousands of nodes and others.

Switch family manufacturer *Mellanox* for *InfiniBand* provides for superior performance and port density. It allows you to create the most cost-effective and scalable network commute ranging in size from small clusters to clusters having tens of thousands nodes. These switches can also transmit converged traffic by combining guaranteed bandwidth and great facilities of extended QOS which provides the highest system performance.

Computational experiments. Features of development of parallel computational algorithms for the personal calculable cluster is in detail covered in. The effectiveness of the proposed approach for the computational experiments confirmed the decision of problems of non stationary heat conduction, some aspects of inverse problems of modeling study of thermal properties of materials, the prediction problem of ecological systems under the influence of natural and anthropogenic factors. In addition, the developed multiprocessor system has been used for a more detailed calculation and for obtaining some new effects of the investigated processes. Parallel circuits for numerically analytical visualization of vectors' solutions are disclosed in. The resulting isolines mark smoothness and the proposed approach makes it possible to build a minimum of work on the input and output data of the investigated class of problems. Furthermore, since the values of the basic grid nodes are arranged in region, the layer hour operation does not communicate with each other. Therefore, the calculations for constructing graphs or isolines can be executed in parallel and simultaneously.

Conclusions

Introduction to the multiprocessor system having standard *InfiniBand* of a separate computer network for data exchange and implementation of mechanisms for aggregation network interface and support for *VLAN*, specially organized for the modes of data exchange in the network managed switch *KIB*, and developing a network boot mode processors and the redundancy the key components mechanism module enabled:

– firstly, to receive the following priorities through the application of *InfiniBand* technology: low latency, scalability, redundancy, the possibility of selecting the required velocity from a given speed range which in turn allowed to use the designed system to unleash to decouple the strongly coupled tasks and the tasks with the expanding field of computing ;

– second, to modify the configuration of the computer network adapting its structure to meet each specific type of tasks through a terminal or a *WEB*-interface;

– third, to execute the direct exchange of data between main memory nodes of a multiprocessor system due to the formation of a separate computer network with link aggregation and *VLAN* implementation mechanisms using application *RDMA* (*Remote Direct Memory Access*) technology and *InfiniBand* opportunity. It is possible to increase the speed of computation while unleashing tasks, provide high-speed access to the memory of the cluster nodes and data exchange between them, relieve the *CPU* for data exchange and reduce the bandwidth that extends between the nodes in the cluster;

– fourth, the use of adapters *ConnectX* provided new connective opportunities for different computing environments. This determines the increase in productivity throughout the computer system and allows to offload the *CPU* from the *InfiniBand* service traffic;

– fifth, to increase the effectiveness of the cluster system, adapting the structure of its network to the outbreak of the goals of each type;

– sixth, to simplify the design, build or replace the cluster nodes that are out of order, due to modularity, and also to simplify the work and operation of the entire system.

Prospects for further research in this scientific direction the authors see in the coverage of issues related with the study of computing in a multiprocessor system slow because of its expandable memory. There occurs the need for increased computing power of the system to decouple a certain class of applications. Founded principle of modularity can increase performance of the computer system through the addition of new slave-nodes. The authors consider it expedient to introduce the corresponding analytical expressions for calculating the efficiency of the claimed computer system. This would allow researchers to choose the most effective configuration of a multiprocessor system and its modes of operation. The authors intend to address such study in the next publications.

REFERENCES

1. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Industry and Education: IV International Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.
2. Voevodin V.V., Voevodin Vl.V. Parallel computations. Sankt Peterburg, 2002. 600p.
3. Shvachych G., Pobochii I., Kholod E., Ivaschenko O., V. Busygin Multiprocessors

computing systems in the problem of global optimization. Structural transformations and problems of information economy formation: monograph. Ascona Publishing United States of America. 2018. P. 281 – 291.

4. Ivaschenko V.P., Shvachych G.G., Sobolenko O.V. The system of automated control of temperature regimes of thermal treatment of steel products. Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 1. P. 142 – 147.

5. Shlomchak G., Shvachych G., Moroz B., Fedorov E., Kozenkov D. Automated control of temperature regimes of alloyed steel products based on multiprocessors computing systems. Metalurgija. 2019. №58. P. 299 – 302.

6. Bakanov, V.M. Personal computing cluster as the missing link in the technology of complex technological calculations. Hardware. 2006 № 2. P. 33 – 36.

7. Shvachych G., Moroz B., Ivaschenko O., Sushko I., Poboehii I. The implementation features of the aggregation mode of network interface in the multiprocessors computing system. Computer modeling and optimization of complex systems: Proceedings of the IV international scientific-practical conference, Dnipro, November 1-2., Dnipro. 2018. P. 200–202.

8. Shvachich G., Kholod E., Tkach M. Features of using the INFINIBAND network interface in multiprocessor systems with a distributed computing domain. Information processing systems. 2016. No. 3(140), P. 175 – 181.

9. Ivaschenko, V.P., Bashkov, E.O., Shvachych, G.G., Tkach M.A. Patent No. 61944 Ukraine, IPC C21D 1/26, G06F 15/16 (2011.01). Module high bagatoprotsesornoï system on high alert/; patentees: National Metallurgical Academy of Ukraine, Donetsk National Technical University. – № u 2010 09341; appl. 26.07.2010; publ. 10.03.2011, Bulletin number 5.

10. Shvachych G., Poboehii I., Ivaschenko O., Busygin V. Research of compatibility in the multi-processing compound systems. Science Review. Poland. 2018. № 2 (9). Vol. 1. P.15–19.

11. Shvachych, G.G and Shmukin, A.A. Peculiarities of parallel computational algorithm synthesizing for personal electronic computer (PEC) in heat – and – mass exchange problems. Eastern-europeanjournal of enterprise technologies. 2004. № 2. P. 15 – 29.

12. Shvachych, G.G. and Shmukin, A.A. About technology of parallel simulation on multi-processor computers cluster type. Mathematical modeling. 2007. № 2 (17). P. 99 – 106.

13. Shvachich, G.G and Shmukin, A.A. Determination of thermophysical properties of materials with inverse methods. Proceedings of the International Scientific Conference "Problems of mathematical modeling". 2004. P. 153 – 154.

14. Shvachych, G.G. On the issue of constructing of parallel computations for modeling problems in the identification of environmental parameters. Mathematical modeling. 2006. № 2 (14). P. 23 – 34.

Received 15.02.2022.

Accepted 18.02.2022.

Високоєфективна багатопроцесорна система

Робота присвячена проблемі моделювання архітектури високопродуктивних багатопроцесорних систем обробки даних, які використовуються при розв'язуванні задач з розширюваною областю пам'яті. Запропонована система характеризується підвищеною надійністю і високою енергоефективністю. Система містить окрему реконфігуровану мережу для обміну даних між обчислювальними вузлами, керовані комутатори, а також передбачає мережеве завантаження вузлів, механізм резервування ключових компонентів.

Іващенко Валерій Петрович – доктор технічних наук, професор, заступник директора, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна.

Швачич Геннадій Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна.

Іващенко Олена Валеріївна – к.т.н., доцент кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Український державний університет науки і технологій Дніпро, Україна.

Сушко Лариса Федорівна – старший викладач кафедри фізики та математики Дніпровського державного аграрно-економічного університету, Дніпро, Україна.

Ivashchenko Valery Petrovych – Doctor of science, Professor, the first vice-director, Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine.

Shvachych Gennady Grygorovych – Doctor of science, Professor, Head of Department of Applied Mathematics and Computer Science, Dnipro, Ukraine.

Ivashchenko Olena Valerievna – PhD, Docent of Department of Applied Mathematics and Computer Science, Dnipro, Ukraine.

Sushko Larisa Fedorovna – Senior Lecturer, Department of Physics and Mathematics, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine.

С.П. Мінеєв, Л.А. Новіков, П.М. Самопаленко, Р.В. Макаренко

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВИТОКІВ ПОВІТРЯ ЧЕРЕЗ ВИРОБЛЕНИЙ ПРОСТІР ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Анотація. У статті розглянуто закономірності руху витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт. Наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря в лаві та траєкторій ліній струму у виробленому просторі при прямо-точній та поворотній схемах провітрювання виїмкової ділянки. При проведенні розрахунків використовувався лінійний та двочленний закони фільтрації газу з урахуванням зміни пористості та питомого аеродинамічного опору виробленого простору. Встановлено, що вплив сил інерції призводить до зниження результуючих швидкостей витоків повітря. Отримані результати дозволяють здійснити вибір раціональних схем та режимів провітрювання для зниження загазованості виробок.

Ключові слова: витоків повітря, лінії току, вироблений простір, фільтрація, пористість, градієнт тиску, схеми провітрювання, гірські породи

Постановка проблеми. Витоків повітря через вироблений простір (ВП) вугільних шахт виникають під дією градієнта тисків і становлять 40÷80 % від кількості повітря, що надходить на виїмкову ділянку. Інтенсивність витоків залежить від проникності ВП, величини депресії у виробках, які оконтурюють, використаної схеми провітрювання та інших факторів. При цьому ефективність провітрювання визначається сумарними втратами повітря, що надходить. Рух витоків через ВП призводить до розведення метану та його виносу на вентиляційний штрек у вигляді метаноповітряної суміші з концентрацією метану від 2,5 до 15 %. Це може призводити до загазованості вентиляційних виробок з формуванням шарових та місцевих скупчень, і як наслідок до вибухів метаноповітряних сумішей та шахтних пожеж [1]. Тому визначальним фактором є схема провітрювання, що використовується.

Процес руху витоків повітря через ВП є недостатньо вивченим питанням. Це зумовлено складністю проведення безпосередніх вимірів усередині ВП [2, 3]. Траєкторії ліній току витоків повітря, їх напрямки і швидкість руху визначаються характером зміни абсолютного тиску по довжині виробок, що оконтурюють, і проникністю ВП. У зв'язку з цим актуальним завданням є

отримання закономірностей руху витоків повітря через ВП з урахуванням його фільтраційних параметрів. Це дозволяє вибрати раціональні схеми та режими провітрювання, що забезпечує зниження загазованості виробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню руху витоків повітря через ВП та розробці методів їх розрахунку присвячено велика кількість робіт. Зокрема у роботах [4, 5] при побудові ліній току витоків повітря використовувалися електричні та гідродинамічні моделі. Однак у цих роботах відсутні аналітичні залежності, які описують рух витоків та не наведено обґрунтування можливості їх регулювання. У роботі [2, 6] наведено аналітичний та графоаналітичний методи побудови ліній току витоків повітря. Методи базуються на законі фільтрації Дарсі. Недоліками методів є неточності при отриманні рівняння траєкторій ліній току. Крім того, не враховується відхилення від класичного закону фільтрації газу у ВП.

Мета роботи – дослідження закономірностей руху витоків повітря через вироблений простір з урахуванням його фільтраційних параметрів та діючої схеми провітрювання.

Викладення основного матеріалу дослідження. Проникність ВП визначається розмірами шматків гірських порід, ступенем їх ущільнення, тріщинуватістю та пористістю. У міру віддалення від лави відбувається ущільнення гірських порід, що призводить до зниження пористості ВП. Відповідно до [7] пористість ВП поблизу лави після обрушення покрівлі в середньому змінюється від 30 до 40 %. У міру віддалення від лави пористість знижується від 40 до 20 %. При цьому розглядають три режими руху витоків повітря: турбулентний, перехідний та ламінарний. Турбулентний режим спостерігається у зоні розпушених гірських порід на відстані до 30÷100 м від лави [4]. Зі збільшенням відстані турбулентний режим змінюється перехідним і далі ламінарним. Витоки повітря у ВП досягають максимуму на відстані до 50 м від лави, але на відстані понад 500 м прагнуть нулю.

Аеродинамічний опір виробленого простору визначається як

$$R = hQ_y^{-n}, \quad (1)$$

де h – депресія у виробці, Па; Q_y – витрата повітря у витоках, м³/с; n – показник ступеня, що залежить від режиму руху повітря ($n = 1$ – ламінарний, $1 < n < 2$ – перехідний, $n = 2$ – турбулентний).

Питомий аеродинамічний опір ВП можна визначити за формулою [8]

$$r_x = r_0 + ax^b \approx k_{on}^{-1}\mu, \quad (2)$$

де r_0 – питомий аеродинамічний опір неушільнених порід ВП, Н·с/м⁵; x – відстань від лави по довжині ВП, м; a, b – числові коефіцієнти, що визначаються згідно [9]; k_{en} – коефіцієнт проникності ВП, м²; μ – динамічна в'язкість газу, Па·с.

Витоки повітря розглядаються як плоский потік газу, який описується рівнянням [3]

$$d\psi(x, y) = U_x dy - U_y dx, \quad (3)$$

де $\psi(x, y)$ – функція току; U_x, U_y – поздовжня та поперечна складові швидкості газу в точці з координатами (x, y) , м/с.

При описі плоскої течії газу через ВП використовується закон фільтрації Дарсі, який з урахуванням (3) можна уявити у вигляді [3, 6, 8]

$$U = -\frac{k_{en}}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta l} = -\frac{1}{r_x} \frac{\Delta p}{\Delta l} = -\frac{1}{r_0 + ax^b} \frac{\Delta p}{\Delta l}, \quad (4)$$

де U – швидкість фільтрації, м/с; Δp – перепад тисків за довжиною Δl , Па.

У кускувато-пористому середовищі ВП течія газу характеризується більш високими швидкостями у порівнянні з непорушеними гірськими породами. Зміна прохідних перерізів каналів та їх різкі повороти призводять до виникнення сил інерції, і як наслідок, до відхилення від закону Дарсі. При цьому течія газу описується двочленним законом фільтрації Форхгеймера [10]

$$U = \frac{k_{en}}{\mu} \left(\frac{\Delta p}{\Delta l} - AU^2 \right), \quad (5)$$

де A – числовий параметр, величина якого визначається згідно з [10].

$$A = 12 \cdot 10^{-5} k_{nop}^{-1} (\bar{d} \cdot k_{en}^{-0,5})^2 \rho \cdot k_{en}^{-0,5} = 384 \cdot 10^{-5} k_{nop}^{-2} \cdot \rho \cdot k_{en}^{-0,5}, \quad (6)$$

де ρ – щільність газу, кг/м³; \bar{d} – усереднений діаметр шматків порід, м; k_{nop} – коефіцієнт пористості ВП, д.е.

З урахуванням (4) вираз (6) набуде вигляду

$$A = 384 \cdot 10^{-5} (k_{nop})^{-2} \rho [\mu \cdot (r_0 + ax^b)^{-1}]^{0,5}. \quad (7)$$

Вирішуючи рівняння (5), отримуємо співвідношення для поздовжньої та поперечної складових швидкості витоків повітря:

$$U_x = \frac{1}{2A} \left(\sqrt{\frac{\mu^2}{k_{en}^2} + 4A \frac{\Delta p_x}{\Delta x} - \frac{\mu}{k_{en}}} \right); \quad U_y = \frac{1}{2A} \left(\sqrt{\frac{\mu^2}{k_{en}^2} + 4A \frac{\Delta p_y}{\Delta y} - \frac{\mu}{k_{en}}} \right), \quad (8)$$

На рис. 1 представлено зміну абсолютного тиску повітря уздовж меж ВП при прямоточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт (із підсвіженням) виїмкової ділянки 10-й західної лави по пласту l_1 шахти ім. О.Ф. Засядька (2003 р.) [8] і

зворотноточної схеми провітрювання 1-М-Н-в-вт виїмковій ділянці другий південній лави блоку № 7 ПАТ "Шахтоуправління" Покровське"

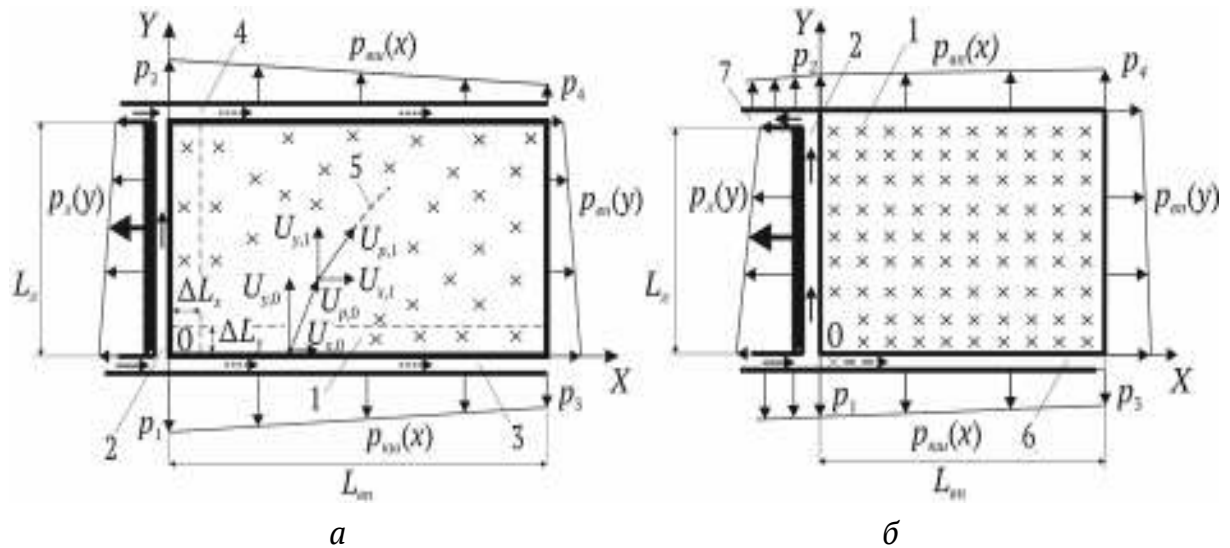


Рисунок 1 – Зміни абсолютного тиску повітря уздовж меж виробленого простору при прямоточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт (а) і зворотноточної схемі провітрювання 1-М-Н-в-вт (б)

На рис. 1 наведені наступні позначення: 1 – ВП; 2 – лава; 3 – конвеєрний штрек; 4 – вентиляційний трек; 5 – лінія току; 6, 7 – перший і другий південні конвеєрні штреки, відповідно; L_l , $L_{вп}$ – довжина лави і ВП, відповідно, м; ΔL_x , ΔL_y – ширина вертикальної та горизонтальної смуг ВП, м; $p_{ку}(x)$, $p_{ви}(x)$, $p_l(y)$, $p_{вп}(x)$, $p_{вп}(y)$ – зміна абсолютних тисків повітря, відповідно по довжині конвеєрного та вентиляційного штреків, лави, ВП (уздовж осей Ox и Oy), Па; p_1 , p_2 , p_3 , p_4 – абсолютний тиск повітря на межах ВП, Па; $U_{x,0}$, $U_{x,1}$ – поздовжні складові швидкості витоків повітря, м/с; $U_{y,0}$, $U_{y,1}$ – поперечні складові швидкості витоків повітря, м/с; $U_{p,0}$, $U_{p,1}$ – результуючі швидкості витоків по, м/с.

Розглянемо прямоточну схему провітрювання 2-В-Н-в-пт з тристороннім примиканням до виробленого простору (рис. 1, а). Співвідношення для градієнтів тиску по ширині смуг ВП [3, 6]:

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta L_x} = \frac{p_l(y) - p_{вп}(y)}{L_{вп}} = \frac{h_{вп} - h_l}{L_l L_{вп}} y + \frac{h_{ку}}{L_{вп}}; \quad \frac{\Delta p_y}{\Delta L_y} = \frac{p_{ку}(x) - p_{ви}(x)}{L_l} = \frac{h_{ви} - h_{ку}}{L_l L_{вп}} x + \frac{h_l}{L_l}, \quad (9)$$

де h_l , $h_{вп}$, $h_{ку}$, $h_{ви}$ – депресії, відповідно лави, усередині ВП, на вентиляційному та конвеєрному штреках, Па.

Приймаючи $\Delta x = \Delta L_x$, $\Delta y = \Delta L_y$, з урахуванням (7) и (9) представимо вираз (8) у вигляді:

$$U_x = \frac{\sqrt{r_x^2 + 4A \left(\frac{h_{ен} - h_l}{L_l L_{ен}} y + \frac{h_{ку}}{L_{ен}} \right)} - r_x}{2A}; \quad U_y = \frac{\sqrt{r_x^2 + 4A \left(\frac{h_{ен} - h_{ку}}{L_l L_{ен}} x + \frac{h_l}{L_l} \right)} - r_x}{2A}. \quad (10)$$

Результуюча швидкість руху витоків повітря

$$U_p = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}. \quad (11)$$

Початкові значення швидкостей витоків повітря визначаються на межі ВП уздовж лави та за довжиною ВП (по довжині конвеєрного штреку). Зв'язок між координатами та результуючими швидкостями витоків повітря має вигляд:

$$x_i = x_0 + \sum_{i-1}^{N_x} |U_{x,i-1}|; \quad y_j = y_0 + \sum_{j-1}^{N_y} |U_{y,j-1}|; \quad U_{p,j} = \sqrt{U_{x,j}^2 + U_{y,j}^2}, \quad (12)$$

де x_0, y_0 – початкові координати точки на межі ВП, м; x_j, y_j – поточні координати, м.

Для визначення швидкостей витоків повітря і побудови траєкторій ліній току прийємо наступні вихідні дані: управління покрівлю – повне обрушення; властивості гірських порід покрівлі – середньообрушені; $p_1 = 115000$ Па; $p_2 = 114780$ Па; $p_3 = 114890$ Па; $p_4 = 113640$ Па; режим руху витоків повітря – ламінарний; $r_0 = 60$ Н·с/м⁵; $a = 6 \cdot 10^{-8}$; $b = 4$; $\rho = 1,184$ кг/м³; $\mu = 1,72 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $L_l = 240$ м; $L_{ен} = 390$ м; $k_{пор} = 0,3 \div 0,4$ (по довжині лави, рахуючи від центру); $k_{пор} = 0,2$ (на відстані $L_{ен}$ від лави); $x_0 = 0, y_0 = 0, 60, 120, 180$ и 210 м (по довжині лави); $y_0 = 0, x_0 = 90, 180, 270$ і 350 м (по довжині конвеєрного штреку).

Розрахунки проводились з використанням програми РТС Mathcad.

На рис. 2 наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря у ВП по довжині лави.

Аналіз рис. 2 показує, що при двочленному законі фільтрації (рис. 2, а) результуючі швидкості витоків повітря менше, ніж при лінійному законі (рис. 2, б), що обумовлено втратами тиску в результаті впливу інерційних сил. При двочленному законі (рис. 2, а) максимум швидкостей витоків розташований усередині ВП на відстані $78 \div 115$ м від лави, а при лінійному законі (рис. 2, б) – на відстані $82 \div 121$ м. Крім того, у міру наближення до вентиляційного штреку відбувається збільшення початкових значень результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави уздовж межі ВП, що пояснюється відповідним збільшенням поздовжніх складових швидкості та постійними значеннями поперечних складових.

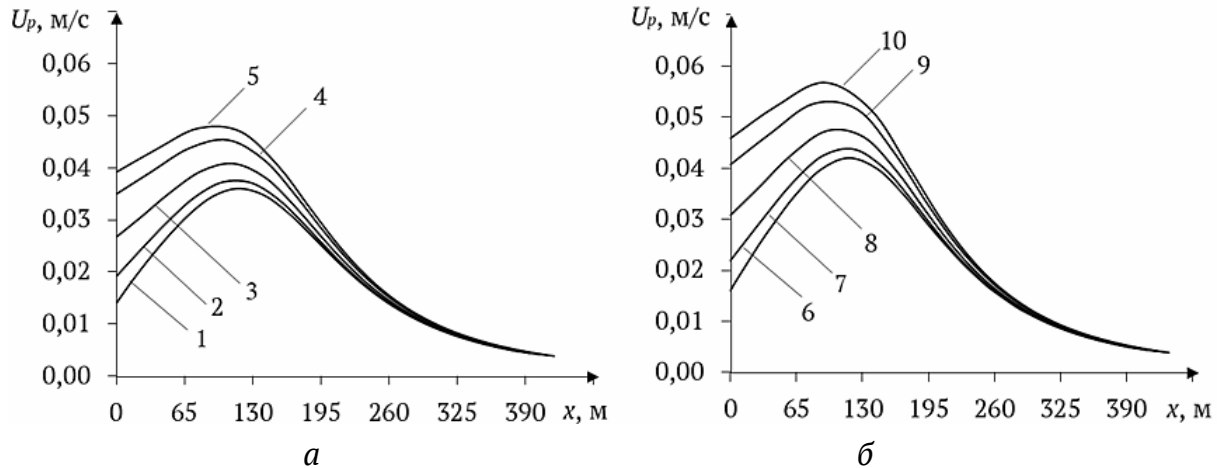


Рисунок 2 – Зміна результуючих швидкостей витоків повітря в виробленому просторі по довжині лави при двочленному (а) та лінійному (б) законах фільтрації: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при $y_0 = 0, 60, 120, 180$ і 210 м; 6, 7, 8, 9, 10 – відповідно при $y_0 = 0, 60, 120, 180$ і 210 м

На рис. 3 представлено зміну початкової результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави уздовж межі ВП у напрямку руху вентиляційного потоку та форма траєкторій ліній току при використанні двочленного закону фільтрації

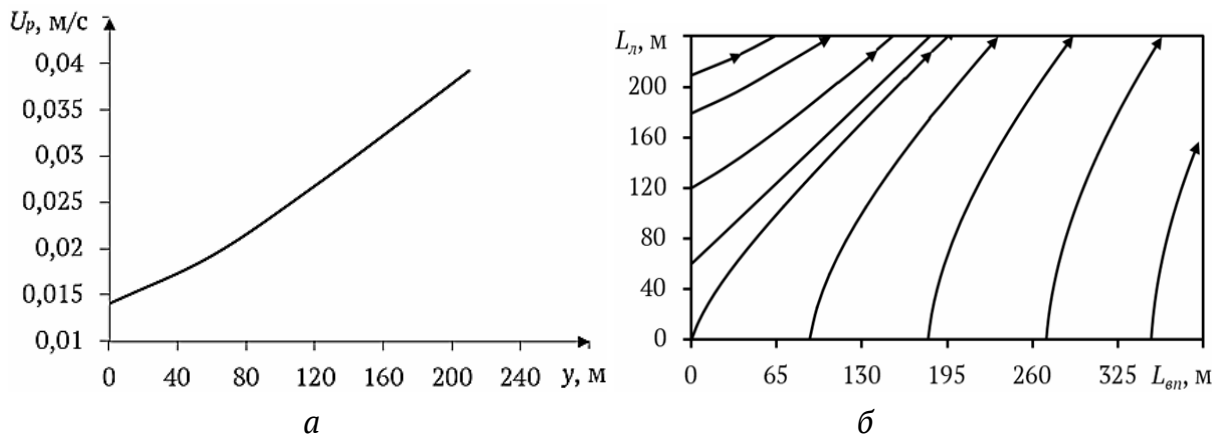


Рисунок 3 – Зміна початкової результуючої швидкості витоків повітря по довжині лави у напрямку руху вентиляційного потоку (а) та траєкторії ліній току у виробленому просторі (б)

З аналізу рис. 3, а випливає, що результуюча швидкість витоків повітря прямо пропорційна відстані від початку лави в напрямку вентиляційного потоку. З рис. 3, б слід, що при прямоточній схемі провітрювання 2-В-Н-в-пт ви-токи повітря рухаються у бік вентиляційного штреку, у якому величина депресії менше, ніж у конвеєрному.

Траєкторії ліній току при законі Дарсі мають аналогічний вигляд.

Розглянемо зворотноточну схему провітрювання 2-В-Н-в-пт з одностороннім примиканням до виробленого простору (рис. 1, б). Для градієнтів тиску отримаємо:

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta L_x} = \frac{p_l(y) - p_{en}(y)}{L_{en}} = \frac{h_y - h_l}{L_l L_{en}} y + \frac{h_{ку}}{L_{en}}; \quad \frac{\Delta p_y}{\Delta L_y} = \frac{p_{ку}(x) - p_{en}(x)}{L_l} = \frac{h_x - h_{ку}}{L_l L_{en}} x + \frac{h_l}{L_l}, \quad (13)$$

де h_x, h_y – депресії ВП, відповідно уздовж осей OX і OY , Па; $h_{ку}$ – депресія підтримуваної ділянки другого південного конвеєрного штреку, Па.

Для визначення швидкостей витоків повітря і побудови траєкторій ліній току приймемо наступні вихідні дані: управління покрівлю – повне обрушення; властивості гірських порід покрівлі – середньообрушені; $p_1 = 115500$ Па; $p_2 = 115250$ Па; $p_3 = 115450$ Па; $p_4 = 115300$ Па; режим руху витоків повітря – ламінарний; $r_0 = 60$ Н·с/м⁵; $a = 6 \cdot 10^{-8}$; $b = 4$; $\rho = 1,184$ кг/м³; $\mu = 1,72 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $L_l = 250$ м; $L_{en} = 1069$ м; $k_{пор} = 0,3 \div 0,4$ (по довжині лави, рахуючи від центру); $k_{пор} = 0,2$ (на відстані L_{en} від лави); $x_0 = 0, y_0 = 0, 10, 30, 40$ і 60 м (по довжині лави); $y_0 = 0, x_0 = 10, 50, 100$ і 150 м (по довжині підтримуваної ділянки конвеєрного штреку).

На рис. 4 наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря в лаві та траєкторії ліній току у ВП, які отримані при використанні двочленного закону фільтрації.

Аналіз рис. 4 показує, що при віддаленні від лави вглиб ВП відбувається зниження швидкостей витоків повітря за лінійною залежністю (рис. 4, а). При цьому уздовж межі ВП у напрямку до центру лави відбувається зниження початкових значень результуючих швидкостей витоків повітря за квадратичною залежністю (рис. 4, б). З рис. 4, в випливає, що на початку лави виникають витоків повітря, які проникають у ВП на відстань до 3 м. Після цього відбувається рух витоків у бік верхньої частини лави, де вони виходять у вигляді метаноповітряної суміші. Тому на початку лави відбувається зниження кількості повітря, що подається, а в кінці лави ця кількість відновлюється.

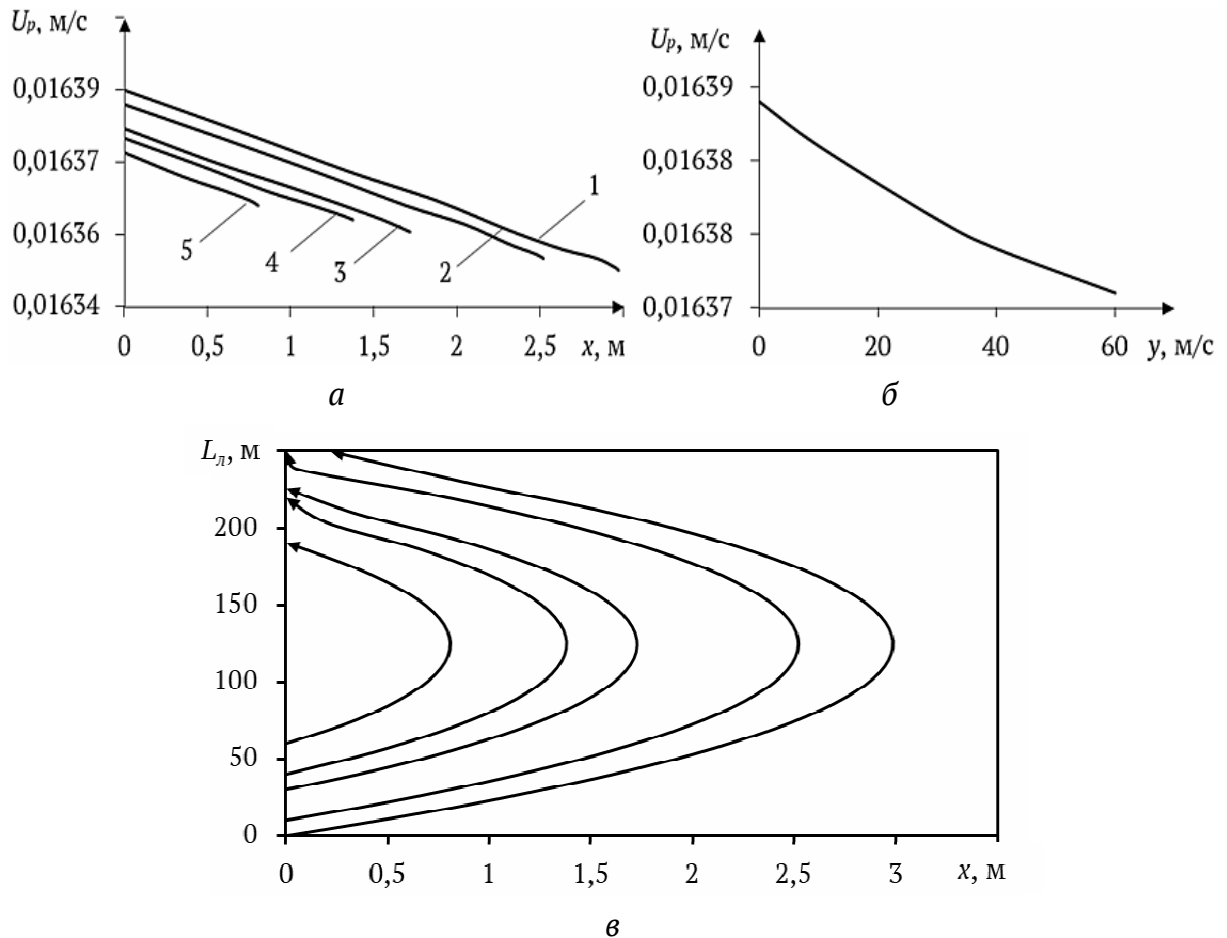


Рисунок 4 – Зміна результуючих швидкостей витоків повітря в виробленому просторі при віддаленні від лави (а), їх початкових значень по довжині лави (б) і траекторії ліній току в виробленому просторі (з):
1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при $x_0 = 0, 10, 30, 40$ і 60 м

Висновки. При прямоточній схемі провітрювання з тристороннім примиканням к ВП, швидкості витоків повітря в лаві експоненційно зростають вздовж межі ВП у напрямку руху вентиляційного потоку і квадратично збільшуються вглиб ВП до деякого максимуму, розташованого на відстані близько половини довжини лави. При цьому у разі зворотноточної схеми провітрювання з одностороннім примиканням, швидкості витоків повітря в лаві мають максимуми на межі ВП і лінійно знижуються до центру лави, причому у ВП на відстані до трьох метрів від лави відбувається їх квадратичне зниження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пожары в горных выработках. Изоляция аварийных участков / А.Ф. Булат, С.П. Минеев, С.Н. Смоланов, И.Б. Беликов. – Харьков: В деле, 2021. – 709 с.

2. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика / Ф.А. Абрамов. – М.: Недра, 1972. – 274 с.
3. Торопчин О.С. Аналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин, С.А. Головкин, Н.В. Безкровный // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 69. – С. 277-287.
4. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт / А.Ф. Милетич. – М.: Недра, 1968. – 146 с.
5. Пучков Л.А. Аэродинамика подземных выработанных пространств / Л.А.Пучков. – М.: МГУ, 1993. – 267 с.
6. Торопчин О.С. Графоаналитический метод определения линий тока утечек воздуха через выработанное пространство / О.С. Торопчин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 68. – С. 245-258.
7. Венгеров И.Р. Теплофизика шахт и рудников. Математические модели / И.Р. Венгеров // Анализ парадигмы. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – Т. 1. – С. 58.
8. Бунько Т.В. Обобщенный алгоритм расчета утечек воздуха через выработанное пространство для различных схем проветривания выемочных участков / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, С.А. Головкин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 108. – С. 143-151.
9. Милетич А.Ф. Утечки воздуха в шахтах / А.Ф. Милетич. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 132 с.
10. Гасанов И.Р. Об изучении влияния инерционных сил при двучленном законе фильтрации / И.Р. Гасанов // Молодой ученый. – 2017. – № 48 (182). – С. 20-24. – URL: <https://moluch.ru/archive/182/46219/>.

REFERENCES

1. Pozhary v gornyh vyrabotkakh. Izoljacija avarijnyh uchastkov / A.F. Bulat, S.P. Minneev, S.N. Smolanov, I.B. Belikov. – Kharkov: В деле, 2021. – 709 с.
2. Abramov F.A. Rudnichnaja ajerogazodinamika / F.A. Abramov. – М.: Nedra, 1972. – 274 p.
3. Toropchin O.S. Analytical method of determination lines of current air through the produced space / O.S. Toropchin, S.A. Golovko, N.V. Bezкровnyj // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotech-

- nical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2007. – no. 69. – P. 277-287.
4. Miletich A.F. Utechki vozduha i ih raschet pri provetrivanii shaht / A.F. Miletich. – M.: Nedra, 1968. – 146 p.
5. Puchkov L.A. Ajerodinamika podzemnyh vyrabotannyh prostranstv / L.A. Puchkov. – M.: MSU, 1993. – 267 p.
6. Toropchin O.S. Graph-analytical method of determination lines of current air through the produced space / O.S. Toropchin // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2007. – no. 68. – P. 245-258.
7. Vengerov I.R. Teplofizika shaht i rudnikov. Matematicheskie modeli / I.R. Vengerov // Paradigm analysis. – Donetsk: Nord-Press, 2008. – Vol. 1. – P. 58.
8. Bunko T.V. The generalized algorithm of calculation losses of air through the worked out space for different ventilation plans of mining areas / T.V. Bunko, I.Ye. Kokoulin, S.A. Golovko // Geo-Technical Mechanics: Interdepartmental collection of scientific papers / Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2013. – no. 108. – P. 143-151.
9. Miletich A.F. Utechki vozduha v shahtah / A.F. Miletich. – M.: Gosgortehizdat, 1962. – 132 p.
10. Gasanov I.R. Ob izuchenii vlijaniya inercionnyh sil pri dvuchlennom zakone fil'tracii / I.R. Gasanov // The young scientist. – 2017. – no. 48 (182). – P. 20-24. URL: <https://moluch.ru/archive/182/46219/>.

Received 16.02.2022.

Accepted 18.02.2022.

Features of the calculation of air leaks through the mined-out space of coal mines

The movement of air leaks through the goaf of coal mines can lead to gas contamination of workings with the formation of local and layer accumulations of methane. This increases the likelihood of explosive situations. Therefore, an important factor is the ventilation scheme used in the excavation area. The process of gas flow through a goaf is an understudied issue. This is due to the difficulty of conducting direct measurements inside the object under study. In many works, when studying the movement of air leaks through the mined-out space, the linear Darcy filtration law is used. However, the influence of inertia forces can lead to additional gas pressure losses and, accordingly, to deviations from the classical law. Therefore, it is advisable to use the law of two-term filtration. The purpose of the work is to study the patterns of movement of air leaks through the mined-out space, taking into account its filtration parameters and the current

ventilation scheme. The article presents the results of calculating the speeds of air leaks and the trajectories of streamlines in the mined-out space with direct-flow and return ventilation schemes. The Darcy formula and the Forchheimer formula were used in the calculations. It has been established that with a two-term filtration law, the values of the resulting air leakage rates are less than with a linear law. This is due to pressure losses as a result of inertial forces. It has been established that with a direct-flow ventilation scheme, the rates of air leakage in the longwall increase exponentially along the goaf boundary in the direction of the ventilation flow and quadratic ally increase deep into the goaf to a certain maximum located at a distance of about half the length of the longwall. At the same time, in the case of the return-flow ventilation scheme, the rates of air leaks in the longwall have maxima at the boundary of the goaf and decrease linearly towards the center of the longwall, and in the goaf at a distance of up to three meters from the longwall, their quadratic decrease occurs. The results obtained make it possible to reduce the gas contamination of workings by choosing rational schemes and ventilation modes.

Мінєєв Сергій Павлович – д.т.н., професор, зав. відділу керування динамічними проявами гірського тиску Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Новіков Леонід Андрійович – к.т.н., науковий співробітник відділу геомеханічних основ відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Самопаленко Петро Михайлович – начальник 10 загону ДВГРС (м. Покровськ).

Макаренко Роман Володимирович – зам. головного інженера «Шахтоуправління ім. Героїв космосу» ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля".

Minieiev Serhii Pavlovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Pressure Dynamics Control in Rocks of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine.

Novikov Leonid Andriiovych – Candidate of Technical Sciences, Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine.

Samopalenko Petro Mykhailovych – Head of the 10th Detachment of the State Militarized Mountain Rescue Service (Pokrovsk).

Makarenko Roman Volodymyrovych – Deputy Chief Engineer "Mining Management name after Space heroes" PJSC "DTEK Pavlogradugol".

AGGREGATION ARRANGEMENT FEATURES OF NETWORK INTERFACE CHANNELS IN MULTIPROCESSOR COMPUTING SYSTEMS

Abstract. The paper identifies ways to increase the multiprocessor computing system performance by reorganizing the architecture of its network interface. It is shown that the computational parallelization performance significantly depends on many factors, the most essential of which is the data transfer between the boundary nodes of a multiprocessor system, which is the algorithm's slowest part and can significantly reduce the effect of increasing the number of processors. Hence, it was established that improving the multiprocessor systems performance by reorganizing the network interface structure is relevant interesting nowadays, and its study is at the active development stage.

The research aims at the aggregation arrangement of network interface channels in multiprocessor computing systems. It is shown that the main channel aggregation mode advantage is that the data interchange speed is significantly increased, as well as the reliability of the cluster system.

Keywords: aggregation, network interface, multiprocessor system, nodes, performance, parallelization.

Problem statement. The parallel computer systems application is one of the strategic directions of information technology development. That can be explained by the constant increase in the number of application tasks for the solution of which current computing tools lack capabilities [1 – 5]. Such tasks include, for instance, numerical modeling of hydrodynamics and metallurgical thermophysics processes, pattern recognition, optimization computations with a huge number of parameters, and others. It is obvious that highly efficient clusters provide a successful way to perform relevant tasks of a wide class.

Special interest in multiprocessor parallel computing systems (clusters) design is due to the publicly available components and technologies [6, 7]. Significant competition between manufacturers of computing equipment leads to the fact that prices for its components are declining quite dynamically. The same refers to the release of new computer models. Given the diversity and scale of production of current information and computing devices, it is safe to say that standard components can build powerful computer systems in a very short time and with the entire possible

needs of different users. Depending on the tasks type and budget for a project, there are many different options for configuring the operating system.

Analysis of multiprocessor systems design approaches has shown that computer manufacturers recently offer devices based on blade technologies [8 - 10]. Under such circumstances, designing a multiprocessor system based on blade servers, get a ready-made chassis equipped with the necessary controls and network interface.

Each blade of the modular system operates under the control of a standard operating system. The power and composition of the nodes may be different within one system. The MPI standard with the open base implementation mpich-1 was chosen as a software tool for parallel computing.

It is obvious that a new qualitative stage in the development of multiprocessor computing systems is in the field of new modern network technologies application. That can be explained by the significant differences between the cluster computer network and the workstation network. Although a cluster design requires conventional network cards and switches in the workstation network arrangement, the cluster computing system has one fundamental feature. Thus, the computer system network is not designed to connect computers but to connect computing processes. Then, the higher the bandwidth of the system's computing network, the faster the user-defined parallel tasks are performed. Therefore, the technical characteristics of the computer network are of paramount importance when it comes to multiprocessor computer systems. Considering the above, it was chosen to apply InfiniBand network interface technology.

Therefore, the InfiniBand standard arranges the data interchange between nodes of the multiprocessor system. In addition, the developed system has the following basic features: network loading of processors, VLAN mode support, redundancy mechanism of module key components, specially designed mode of data interchange between system nodes in the network of InfiniBand switches.

However, the computational parallelization performance depends on many factors, the most important of which is the data transfer between the nodes of the multiprocessor system, which is the slowest part of the algorithm and can significantly reduce the effect of increasing the number of processors. That circumstance suggests that one of the main ways to increase the efficiency of multiprocessor systems is to aggregate the network interface channels in the data interchange network between the slave nodes of the system [11, 12]. From such positions in the given research, ways of increase of efficiency of multiprocessor computing systems are estimated.

Thus, it is established that improving the multiprocessor systems performance by reorganizing the network interface structure today is relevant, interesting and its study is at the active development stage.

Analysis of recent research and publications. Analysis of the network interface operation modes of multiprocessor systems allows formulating the following problem: how the architectural design features of the network interface of multiprocessor cluster systems can increase their efficiency and speed.

That problem can be solved as follows: the "linking channels" procedure or channel bonding technology is recommended to increase the cluster bandwidth, which allows combining several network adapters into a single-speed channel [13]. The data interchange between the cluster's computing nodes is run in a separate network that operates based on the mentioned channel bonding technology [14]. The proposed approach should increase the data interchange speed between the slave nodes of the multiprocessor system and reduce the load on the channel that connects the cluster nodes.

The channel aggregation problem in modular multiprocessor cluster systems is currently not solved properly. In addition, there are critically few studies examining the impact of cluster system network architecture on computational parallelization performance.

The developed technology of linking the network interface channels of a multiprocessor cluster system allows connecting the cluster nodes into a network so that each of them is connected to the switch with more than one channel. The described technology is similar to the trunking mode when connecting switches, which increases the data rate between two or more switches. The application of the channel binding procedure allows achieving uniform load distribution (data reception/transmission) between them in a multiprocessor system and increases the speed of data interchange between its nodes.

The research purpose. The paper identifies ways to increase the multiprocessor computing system performance by reorganizing the architecture of its network interface. The proposed approach allowed increasing the computations parallelization performance and significantly reduced the time of their implementation. Those results were achieved by reducing the duration of data interchange between neighboring computing nodes of the multiprocessor system. Thus, the research aims to organize the network interface channels aggregation in multiprocessor computer systems.

The main advantage of the channel aggregation mode is that the speed of data

interchange is significantly increased, and the cluster system reliability. Finally, it is provided that in case an adapter fails, the traffic is sent to the next working adapter without service interruption. When the adapter starts working again, data transfer is resumed.

Main research material presentation

Arrangement and configuration of the multi-channel network interface of the multiprocessor system. Note some important arrangement features of the network interface according to channel bonding technology in the application to the first blade of a multiprocessor system. To do this, consider the principle of connecting several adapters in parallel. Suppose there are four adapters: ib1, ib2, ib3, and ib4. They must be combined into a pseudo-adapter bond0. The system recognizes those aggregate adapters as one. They are all configured for a single MAC address, so remote servers treat them as single devices. The pseudo-adapter bond0 can be configured for a single IP address. Then any program refers to it as a normal adapter, which is twice as fast. Network interface aggregation protocols specify which ports are used for outbound traffic or which specific port receives inbound traffic. The interface state is used to check the link; it can be active or not.

Given the described features of channel linking, we define the requirements to be met by the hardware and software of a multiprocessor cluster system. Channel bonding technology implementation requires at least two physical subnets. Nevertheless, the combined channel can be built based on three or more network cards. To bind those maps into a single channel (one virtual card), it is necessary to compile the kernel of the OS with support for channel bonding mode or to load the kernel module into the OS bonding.o.

To configure the merged channel, one must use the standard ifconfig command or the optional ifenslave command. That is because ifenslave allows copying the settings of the first interface to the rest of the additional interfaces.

These studies implement the formation mode of two subnets with a single virtual channel. Shutting down network interfaces in a multiprocessor system is done by a command `/etc/rc.d/init.d/network stop`.

Then proceed to the actual configuration of the connected (combined) channel. The first step is to modify the `/etc/modules.conf` file by adding the following line:

```
alias bond0 bonding
```

In order not to reboot the system, the `modprobe bonding` module is activated. That tells the system that one needs to load the `bonding.o` module, which is identified by the `bond0` command.

Then go to the directory `/etc/sysconfig/network-scripts` and rename the description file of the first interface `ifcfg-ib1` to `ifcfg-bond0` as follows:

```
cp ifcfg-ib1 ifcfg-bond0
```

The generated `ifcfg-bond0` file needs to be edited so that it looks like this:

```
DEVICE=bond0IPADDR=192.168.1.1NETMASK=255.255.0.0NETWORK=
192.168.0.0BROADCAST=192.168.2.255ONBOOT=yesBOOTPROTO=
noneUSERCTL=no
```

In this case, the user must specify own data: *IP* address, mask, network address. In addition, one needs to provide information used to link the channels of the proposed multiprocessor cluster system. It should be noted that no lines were deleted in the provided file, with necessary changes. Therefore, the virtual network interface description file was edited. The next step is to create the description files of the real physical interfaces *ib1*, *ib2*, *ib3*, and *ib4*, which indicate their affiliation to the connected channel. Table 1 shows the contents of the files *ifcfg-ib1*, *ifcfg-ib2*, *ifcfg-ib3*, and *ifcfg-ib4*.

Table 1

Contents of network interface description files

file ifcfg – ib1	file ifcfg – ib2	file ifcfg – ib3	file ifcfg – ib4
DEVICE=ib1	DEVICE=ib2	DEVICE=ib3	DEVICE=ib4
USERCTL=no	USERCTL=no	USERCTL=no	USERCTL=no
ONBOOT=yes	ONBOOT=yes	ONBOOT=yes	ONBOOT=yes
MASTER=bond0	MASTER=bond0	MASTER=bond0	MASTER=bond0
SLAVE=yes	SLAVE=yes	SLAVE=yes	SLAVE=yes
BOOTPROTO=none	BOOTPROTO=none	BOOTPROTO=none	BOOTPROTO=none

According to Table 1, the interface configuration files have the following contents:

file ifcfg – ib1:

```
DEVICE=ib1IPADDR=192.168.2.1NETMASK=255.255.0.0NETWORK=192.
168.0.0BROADCAST=192.168.2.255ONBOOT=yesBOOTPROTO=noneUSERCTL=
no
```

file ifcfg – ib2:

```
DEVICE=ib2IPADDR=192.168.2.2NETMASK=255.255.0.0NETWORK=192.
168.0.0BROADCAST=192.168.2.255ONBOOT=yesBOOTPROTO=noneUSERCTL=
no
```

file ifcfg – ib3:

```
DEVICE=ib1IPADDR=192.168.2.3NETMASK=255.255.0.0NETWORK=192.
168.0.0BROADCAST=192.168.2.255ONBOOT=yesBOOTPROTO=noneUSERCTL=
no
```

file ifcfg – ib4:

```
DEVICE=ib1IPADDR=192.168.2.4NETMASK=255.255.0.0NETWORK=192.168.0.0BROADCAST=192.168.2.255ONBOOT=yesBOOTPROTO=noneUSERCTL=no
```

Next, perform the network interface initialization stage by the command

```
/etc/rc.d/init.d/network start
```

If the system distribution does not allow master/slave notification, then to configure the network interfaces, one needs to run the connected channel interface manually by executing this sequence of commands:

```
/sbin/ifconfig bond0 192.168.1.1 up netmask 255.255.0.0 /sbin/ifenslave bond0 ib0 /sbin/ifenslave bond0 ib1 /sbin/ifenslave bond0 ib2 /sbin/ifenslave bond0 ib3 /sbin/ifenslave bond0 ib4
```

In order not to execute each of the listed commands manually each time, it is recommended to write them in some startup-script (it can be */etc/rs.d/rs.local*) or to replace with them the part of the script responsible for initialization of the network interface */etc/rc.d/init.d/network*.

The resulting compiled file must be copied to the folder */usr/sbin*.

When, for any reason, all network drivers need to initialize bonding driver downloads, the following line should be added

```
probeall bond0 ib1 ib2 ib3 ib4 ibbonding
```

to the */etc/modules.conf* file. That instructs the system that in the case of *bond0* interface initialization, the *modprobe* utility must first load the drivers of all network interfaces.

Channel bonding configuration gets completed at this stage. If the network interface was initialized without errors, one can check this by the *ifconfig* command. After running it without entering parameters, the user sees the following messages on the terminal screen:

```
[root]# /sbin/ifconfig
bond0      Link encap: InfiniBand  HWaddr 00: C0 : F0 :1 F
:37: B4
           inet addr :192.168.1.1 Bcast :192.168.2.255  Mask
:255.255.0.0
           UP BROADCAST RUNNING MASTER MULTICAST  MTU :1500
MEtrIc :1
           RX packets :7224794 errors :0 dropped :0 overruns
:0 frame :0
           TX packets :3286647 errors :1 dropped :0 overruns
```

«Системні технології» 2 (139) 2022 «System technologies»

```
:1 frame :0
      collisions :0 txqueuelen :0
      ib1      Link encap: InfiniBand  HWaddr 00: C0 : F0 :1 F
:37: B4
      inet  addr  :192.168.2.1      Bcast  :192.168.2.255
Mask :255.255.0.0
      UP BROADCAST RUNNING SLAVE MULTICAST  MTU :1500
MEtrIc :1
      RX packets :7224794 errors :0 dropped :0 overruns
:0 frame :0
      TX packets :3286647 errors :1 dropped :0 over-
runs :1 carrier :0
      collisions :0 txqueuelen :100
      Interrupt :10 Base address :0 x1080
      Ib2      Link encap: InfiniBand  HWaddr 00: C0 : F0 :1 F
:37: B5
      inet  addr  :192.168.2.2      Bcast  :192.168.2.255
Mask :255.255.0.0
      UP BROADCAST RUNNING SLAVE MULTICAST  MTU :1500
MEtrIc :1
      RX packets :7224794 errors :0 dropped :0 overruns
:0 frame :0
      TX packets :3286647 errors :1 dropped :0 over-
runs :1 carrier :0
      collisions :0 txqueuelen :100
      Interrupt :9 Base address :0 x1400
      Ib3      Link encap: InfiniBand  HWaddr 00: C0 : F0 :1 F
:37: B6
      inet  addr  :192.168.2.3      Bcast  :192.168.2.255
Mask :255.255.0.0
      UP BROADCAST RUNNING SLAVE MULTICAST  MTU :1500
MEtrIc :1
      RX packets :7224794 errors :0 dropped :0 overruns
:0 frame :0
      TX packets :3286647 errors :1 dropped :0 over-
runs :1 carrier :0
      collisions :0 txqueuelen :100
      Interrupt :9 Base address :0 x1400
      Ib4      Link encap: InfiniBand  HWaddr 00: C0 : F0 :1 F
:37: B7
      inet  addr  :192.168.2.4      Bcast  :192.168.2.255
Mask :255.255.0.0
```

```
UP BROADCAST RUNNING SLAVE MULTICAST  MTU :1500
MEtrIc :1
RX packets :7224794 errors :0 dropped :0 overruns
:0 frame :0
TX packets :3286647 errors :1 dropped :0 over-
runs :1 carrier :0
collisions :0 txqueuelen :100
Interrupt :9 Base address :0 x1400
lo      Link encap: Local Loopback
        inet addr :127.0.0.1  Mask :255.0.0.0
UP LOOPBACK RUNNING  MTU :1500  MEtrIc :1
RX packets :1110 errors :0 dropped :0 overruns :0 frame :0
TX packets :1110 errors :0 dropped :0 overruns :0 frame :0
collisions :0 txqueuelen :0
```

According to the method described above, the network interfaces and other nodes of the multiprocessor system are initialized. One can then conclude that the linked channel was successfully configured. It is clear that the *IP* and *MAC* addresses of all network interfaces in the given version turned out to be the same. For the switch to work properly with such a channel, one needs to configure the *Link Aggregation* mode.

Conclusions

The paper identifies ways to increase the multiprocessor computing system performance by rearranging the architecture of its network interface. Thus, the operation modes analysis of the network interface of multiprocessor systems allowed outlining ways to increase their performance and speed due to the architecture design features of their network interface. It should be borne in mind that the network of a computing system is not designed to connect computers but to connect computing processes. Then, the higher the system's computer network bandwidth, the faster the user-defined parallel tasks will be performed. Therefore, the computer network technical features are of paramount importance for multiprocessor computing systems.

The problem outlined in the paper is solved as follows: to increase the bandwidth of the cluster network, it is recommended to apply the "linking channels" procedure, or channel bonding technology, which allows combining multiple network adapters into a single-speed channel. In this case, the data interchange between the cluster's computing nodes is done in a separate network, which operates based on the mentioned channel bonding technology. The proposed approach should help increase the speed of data interchange between the slave-nodes of the multiprocessor

system and reduce the load on the channel that connects the cluster nodes.

Considering the above, it was decided to use *InfiniBand* network interface technology. Therefore, the data interchange between nodes of the multiprocessor system is arranged by *InfiniBand* standard. In addition, the developed system has the following basic features: network loading of processors, *VLAN* mode support, key components redundancy mechanism of the module, specially designed mode of data interchange between system nodes in the network of *InfiniBand* switches.

The main advantage of the channel aggregation mode is that the speed of data interchange is significantly increased, and the cluster system reliability. Finally, it is provided that in case of the adapter's failure, the traffic is sent to the next working adapter without service interruption. When the adapter restarts again, the data transfer resumes.

The proposed approach allowed increasing the efficiency of computations parallelization and significantly reduced their implementation time. Those results were achieved by reducing the duration of data interchange between neighboring computing nodes of the multiprocessor system. Thus, the research aims to arrange the aggregation of network interface channels in multiprocessor computing systems.

Those features of the developed system allowed improving it with the acquisition of certain differences from available systems, namely:

- first, the *InfiniBand* technology implementation has the following advantages: low latency and high speed, which allows solving problems that involve advanced computing segments;

- secondly, based on the *RDMA* principle of *InfiniBand* technology, direct data interchange runs between the *RAM* of multiprocessor system nodes that increase computing speed and provides high-speed access to the memory of its slave nodes, and data interchange in-between, unloading *CPU* system during data interchange and reducing the channel load that passes between the nodes of the computer system;

Third, the application of the adapters such as *ConnectX* creates fundamentally new opportunities for the "connectivity" of such a system with other computing environments; in particular, it allows unloading the *CPU* (by servicing *InfiniBand* traffic) as a consequence, increases entire multiprocessor system performance.

REFERENCE

1. Ivaschenko V.P., Shvachych G.G., Sobolenko O.V. The system of automated control of temperature regimes of thermal treatment of steel products. Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 1. P. 142 –147.
2. Shlomchak G., Shvachych G., Moroz B., Fedorov E., Kozenkov D. Automated control of temperature regimes of alloyed steel products based on multiprocessors computing systems. Metalurgija. 2019. №58. P. 299 – 302.
3. Shvachych G., Mamuzic I., Ivaschenko O., Moroz B., Hulina I. Maximum parallel forms of difference scheme algorithms in applied problems of metallurgical thermal physics. Materials and Metallurgy: 14 International Symposium of Croatian Metallurgical Society SHMD. CROATIA. 2020. P. 442.
4. Shvachych G., Ivaschenko O., Busygin V., Fedorov E. Parallel computational algorithms in thermal processes in metallurgy and mining. Naukovyi visnyk NHU. Dnipro. 2018. № 4. P. 129–137.
5. Ivaschenko V., Shvachych G., Ivaschenko O., Busygin, V. Processors selection problem in the module computing system when making new technological processes. Information Technology in Metallurgy and Machine Building : materials and Technical International Conference. 2018. P. 106.
6. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Industry and Education: IV International Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.
7. Voevodin V.V., Voevodin VI.V. Parallel computations. Sankt Peterburg, 2002. 600 p.
8. Shvachych G., Poboehii I., Kholod E., Ivaschenko O., V. Busygin Multiprocessors computing systems in the problem of global optimization. Structural transformations and problems of information economy formation: monograph. Ascona Publishing United States of America. 2018. P. 281 – 291.
9. Shvachych G., Poboehii I., Ivaschenko O., Busygin V. Research of compatibility in the multi-processing compound systems. Science Review. Poland. 2018. № 2 (9). Vol. 1. P.15–19.
10. Ivaschenko V., Shvachych G., Ivaschenko O., Busygin, V. Processors selection problem in the module computing system when making new technological processes. Information Technology in Metallurgy and Machine Building : materials and Technical International Conference, Dnipro, March 27-29. 2018 Dnipro. 2018. P. 106.

11. Shvachich G., Sobolenko O., Ivashchenko O. Mode of aggregation of network interface channels of multiprocessor computing systems. Quality strategy in industry and education: Conference proceedings. Varna, July 5-8, 2017. Varna, Bulgaria. 2017. Vol. 2. P. 452–457.
12. Ivaschenko V., Shvachych G., Ivaschenko O., Busygin, V. Improving the efficiency of multiprocessors system through in-line interface network aggregation. System technologies. Dnipro. 2018. № 2(115). P. 84–93.
13. Shvachych G., Moroz B., Ivaschenko O., Sushko I., Pobochii I. The implementation features of the aggregation mode of network interface in the multiprocessors computing system. Computer modeling and optimization of complex systems: Proceedings of the IV international scientific-practical conference, Dnipro, November 1-2., Dnipro. 2018. P. 200–202.
14. Shvachich G., Kholod E., Tkach M. Features of using the INFINIBAND network interface in multiprocessor systems with a distributed computing domain. Information processing systems. 2016. No. 3(140), P. 175 – 181.

Received 16.02.2022.

Accepted 18.02.2022.

***Особливості організації агрегації каналів мережевого інтерфейса
в багатопроцесорних обчислювальних системах***

Визначаються шляхи підвищення ефективності багатопроцесорної обчислювальної системи за рахунок реорганізації архітектури її мережевого інтерфейсу. Показано, що ефективність паралелізації обчислень істотно залежить від багатьох чинників, найважливіший з яких – особливості пересилання даних між граничними вузлами багатопроцесорної системи, що являє собою найповільнішу частину алгоритму виконуваних обчислень і може суттєво знизити ефект від збільшення кількості задіяних процесорів. Запропоновано режим агрегації каналів мережевого інтерфейса в багатопроцесорних обчислювальних системах. Відзначено, що основна перевага режиму агрегації каналів полягає в тому, що істотно підвищується швидкість обміну даними, а також зростають показники надійності функціонування кластерної системи.

Мороз Дмитро Максимович – аспірант, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

Dmytro Moroz – PhD student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

**СЕМАНТИЧНИЙ АНАЛІЗ БАЗОВИХ ПОНЯТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ
З ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ПІДГОТОВКИ НАУКОВИХ КАДРІВ**

Анотація. Актуальність статті підтверджується шляхом аналітичного вивчення наукових досягнень попередників, заснованих на практичних аспектах побудови інформаційно-аналітичних систем та визначається трансдисциплінарністю наукового знання, а також доцільністю проведення структурно-логічного чи семантичного аналізу відповідної термінології, яка забезпечує системність та раціональність будь-якого наукового дослідження. Таким чином, результати вивчення сутності та змісту базових понять за первинними результатами докторського дослідження визначають вектор подальших дослідницьких пошуків. Тому основною метою статті є представлення результатів поточних пошуків щодо вивчення категоріально-понятійного апарату, який забезпечуватиме базову дефінітивну підтримку докторського дослідження методології побудови інформаційно-аналітичної системи підготовки наукових кадрів. У цьому контексті використовувалися методи контент-аналізу, семантичного та порівняльного аналізу, онтологічного моделювання та ін. Висновки та перспективи дослідження охоплюють коло питань, що уможливають розуміння суті базових дефініцій, які перебувають у термінополі «інформаційно-аналітична система».

Ключові слова: інформаційно-аналітична система, інформаційне середовище, інформаційно-аналітична взаємодія, семантичне оточення, онтологічне моделювання, методологія побудови систем, наукові кадри.

Постановка проблеми. Динамічний розвиток науково-технічного прогресу зумовлює постійне вдосконалення як технічного парку людства, так і пов'язаного із ним програмного забезпечення, покликаного обробляти величезні масиви даних, що людство продукує. Причому це вдосконалення стосується не тільки кількісних показників, як швидкість обміну даними чи можливість обсягів накопичення інформації, а і якісних – поява нових підходів до роботи з інформацією, таких як: технології пошуку інформації, методи забезпечення релевантності даних, технології семантичного та інформаційного аналізу тощо. Це привело до появи нової фундаментальної науки – ітології, що

вивчає інформаційні системи і технології.

У дослідженні нами розкрито трансдисциплінарні взаємозв'язки між базовими поняттями, на основі яких будується термінологічний апарат дослідження з побудови і функціонування роботи інформаційно-аналітичних систем (далі – ІАС) [26]. До того ж у науковій літературі існує декілька різних тлумачень базових понять, пов'язаних із термінополем «інформаційно-аналітична система». Звісно, що сукупність інформаційних об'єктів та зв'язків між ними називають інформаційною сферою, інформаційним середовищем, інформаційним простором тощо. З'ясування суті зазначених у дослідженні понять нині є актуальним предметом вивчення науки, особливо у векторі інформаційно-аналітичного супроводу підготовки наукових кадрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дав змогу стверджувати, що вивчення семантики понять, пов'язаних із ІАС присвячено праці значної плеяди дослідників. Адже, розглядаючи термінополе «інформаційно-аналітична система» знаходимо сенс у семантичному дослідженні саме структурно-логічного конструкту «інформація ↔ аналіз ↔ система». Слід зазначити, що у загальному, філософському трактуванні, деякі вчені підтверджують існування двох різних підходів до визначення інформації – атрибутивний і функціональний. До того ж, саме «атрибутивісти» вважають, що інформація є властивістю всіх без винятку матеріальних об'єктів – й живих, і неживих, тобто є атрибутом матерії. Слід зауважити, що одне із найбільш відомих визначень інформації належить видатному українському академіку В. Глушкову. Він констатував, що «інформація, у найзагальнішому її розумінні, є мірою неоднорідності розподілу матерії енергії в просторі й часі, мірою змін, якими супроводжуються всі процеси, що протікають у світі» [4]. Проте за позицією «функціоналістів» є твердження, що інформація розуміється як властивість не всієї, а тільки високоорганізованої матерії та нерозривно пов'язана із управлінською діяльністю (Г. Вдовиченко, Д. Дубровський, Н. Жуков, Б. Українцев, М. Янков та ін.). До того ж, загальної відомості набула так звана «інформаційна теорія К. Шеннона» [20]. Розвиток цієї теорії отримано у працях Н. Вінера, що по праву вважається «батьком кібернетики», а також у роботах А. Колмогорова, де інформація описується через імовірнісний, комбінаторний та алгоритмічний підходи до вимірювання її кількості [11]. У цьому ж контексті цікава праця В. Вяткіна [3], присвячена розробленню синергетичного підходу до визначення інформації. У цьому ж контексті вітчизняні науковці П. Масляно і П. Ліссов докладно дослідили інформаційні системи – інформаційно-

аналітичні та інформаційно-комунікаційні ресурси, їх визначення та класифікацію [14], приділили значну увагу різним підходам до вимірювання кількості інформації [15]. Також багатоманітні аспекти побудови та функціонування інформаційних систем обґрунтовано такими ученими, як: В. Биков і В. Руденко (інформаційні системи в освіті) [1], В. Желязкова [6], В. Захарова і Л. Філіппова [7] (семантичні інформаційні системи), С. Зибін і В. Хорошко (інформаційні технології захисту, розроблення і оптимізація структур трафіків передачі інформації, інженерія програмного забезпечення, у т. ч. й мережевих тезаурусів) [8, 9] та ін. Таким чином, у контексті нашого дослідження, спираючись на досвід попередників та враховуючі сучасні здобутки науки, є сенс надати визначення поняття «інформація» як одного із базових у нашому дослідженні, тим самим забезпечуючи першу складову наведеного вище конструкту.

Переходячи до другої складової «аналіз», звертаємось до отриманих результатів та, на нашу думку, більш конструктивних визначень. Дослідниця В. Варенко стверджує, що «аналітика – це розгалужена і складна система знань, складовими частинами якої є й інші науки: логіка (наука про закономірності правильного мислення), методологія (система принципів, методів і прийомів пізнавальної діяльності), евристика (наука, що відкриває нове в різних сферах життя), інформатика (наука про інформацію, способи її отримання, накопичення, обробки і передачі». Адже необмежене відтворення й накопичення та багаторазове використання інформації у руслі аналітики – це «масове продукування нової інформації на основі зібраної – первинної» [2, с. 19]. До того ж, питання аналітики захоплюють науку ще з часів Аристотеля, по суті якого й можна вважати її винахідником (перші праці про системне бачення світу та важливість системних досліджень, пов'язаних з аналітикою, належать цьому філософу). Також В. Варенко стверджує, що «аналіз – поділ об'єкта (подумки чи реально) на складові частини з метою їх окремого вивчення», а безпосередньо «інформаційна аналітика виконує насамперед завдання якісно-змістовного перетворення первинної інформації, функціонально перетинаючись в цьому плані з науковою (виробництво нового знання) і управлінською (розробка варіантів рішень, сценаріїв) діяльністю» [2, с. 38]. На нашу думку, у векторі нашого дослідження виокремлення базового поняття «інформаційний аналіз» має рацію та відповідає логічному конструкту «інформація + аналіз = інформаційний аналіз», а також логічно визначає структуру «інформаційний аналіз + система = системний інформаційний аналіз». У свою чергу, результати

аналітичних розвідок щодо семантики понять «система», «системний аналіз», «системний інформаційний аналіз» дають змогу стверджувати, що ця проблема є у колі наукових інтересів таких дослідників, як: Е. Квейд, В. Кінг, М. Моїсеєв, С. Оптнер С. Янг та ін.

Мета дослідження – представити поточні результати наукового дослідження щодо визначення та здійснення первинного дефінітивного аналізу базових понять, необхідних для розуміння суті категорії «інформаційно-аналітична система», що уможливлуватиме виділення істотних ознак та сприятиме удосконаленню термінологічного апарату в контексті розроблення методології створення інформаційно-аналітичної системи для забезпечення якості підготовки наукових кадрів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Сучасне суспільство досить різнорідне, проте вектор його розвитку вважається визначеним від постіндустріального до знаннєвого через інформаційне. Можна погоджуватись або ні з цією тезою, проте беззаперечним є той факт, що отримані завдяки цій соціальній, а точніше буде сказано – трансдисциплінарній парадигмі, установки спричинили бурхливий розвиток науково-технічного прогресу саме в галузі інформатизації та цифровізації. Це й зумовлює необхідність різностороннього дослідження поняття «інформація» та його похідних як логічно-конструктивної основи термінополя «інформаційно-аналітична система». Вже давно стало зрозумілим, що навколо нас відбувається формування нової інформаційної реальності, що є результатом динамічних процесів глобальної інформатизації суспільства. Тому за базові поняття у руслі аналітичних дослідів маємо приймати всі ті категорії термінів, що є похідними до поняття «інформація» у термінополі «інформаційно-аналітична система» та утворюють структурно-логічний (семантичний) контекст «інформація ↔ аналіз ↔ система». Відповідно це дасть й розуміння понять «інформаційний простір», «інформаційно-аналітичне поле», «інформаційне середовище», «онтологія», «семантичне оточення» та ін. Таким чином, на нашу думку, поняття «інформація» є основним базовим для розуміння процесів, що розглядатимуться в межах нашого дослідження.

Відтак, нині існує багато визначень поняття «інформація». За деякими оцінками їх (а, отже, і підходів до розгляду та інтерпретації інформації) понад тридцять [19, 23, 24]. Умовно поділивши підходи до визначення інформації на гуманітарні й технологічні (за можливістю здійснювати точні вимірювання обсягу інформації) відзначимо, що жодна із цих категорій не є вичерпною.

Гуманітарні підходи, у свою чергу, можна поділити на соціальні, психологічні, технологічні та ін. Наприклад, із точки зору теорії журналістики, під інформацією розуміють «опис фактів», проте і тут постає питання, чи до інформації належать будь-які факти, чи лише нові [5]. Зауважимо, що нині вже стала класикою теорія інформації, заснована на роботах Р. Хартлі [19, 23, 24] і К. Шеннона [20], відповідно якої інформація існує лише в кібернетичних системах і невід’ємна від функції управління. Як різновиди кібернетичних систем дослідники розглядають клітини живих організмів, людину, суспільство тощо. В основу теорії інформації покладено запропонований К. Шенноном спосіб вимірювання кількості інформації, що міститься в одній випадковій величині, відносно іншої. Він дає змогу виразити кількість інформації конкретним числом. Від цього підходу суттєво відрізняється синергетична теорія інформації, де йдеться про інший вид інформації, що існує незалежно від управління і генетично йому передуює.

Більш конкретно – у традиційній теорії інформація являє собою зняту невизначеність вибору однієї властивості можливостей, а у синергетичній теорії під терміном інформація розуміють відомості про кінцеву множину як єдине ціле. Відповідно, предметом пізнання синергетичної теорії інформації є інформаційно-кількісні аспекти відображення кінцевих множин (дискретних систем) як цілісних утворень [3]. Посилаючись на роботу Ю. Шрейдера, де наведено якісні результати з вивчення проблем інформації з погляду семантичного аналізу об’єктів, з’ясовано, що маючі вже існуючі розробки логіко-змістовних основ інформаційного забезпечення, можна охарактеризувати модель семантичної інформації, сенс якої зводиться до розгляду будь-яких значущих повідомлень з погляду постійної наявності в них інформації. Причому ці відомості змінюють з часом запас знань приймача інформації (запас знань можна трактувати як тезаурус). Сутність модельного підходу в цьому випадку полягає в тому, що семантичний аспект інформації виражає відношення між повідомленнями та їх передавачами; в результаті інформаційні процеси видаються як процеси відбиття. Кількість семантичної інформації, що міститься у певному повідомленні, певною мірою визначається зміною тезаурусу [21]. Таким чином, констатуємо, що існує велика кількість методологічних підходів до розуміння інформації, що відображають різні її аспекти і дають змогу розглядати її з різних точок зору.

Беручи до уваги зазначене, на даному етапі дослідження за основу для розуміння візьмемо поняття, запропоноване М. Кадемією, яка чітко

встановлює те, що «інформація – це відомості про осіб, предмети, факти, події та процеси, незалежно від форми їх представлення» [0, с. 92]. Хоча, на нашу думку, це потребує визначення ще однієї дефініції – «відомості». У межах дослідження під відомостями будемо розуміти уявлення, що виникають у суб'єкта в результаті сприйняття та аналізу даних, де дані – це деякі факти, фіксовані відомості про події. Справді інформація не може існувати сама по собі, без деякого носія, представленого в матеріально-енергетичній формі й є частиною Універсуму. Також найбільш суттєвими дефініціями, що можна зустріти при розгляді термінополя «інформаційно-аналітична система» є такі як: «інформаційний простір», «інформаційно-аналітичне поле», «інформаційне середовище». Інколи їх помилково вживають у якості синонімів. Взаємовідношення між ними представлено на рисунку 1, де:

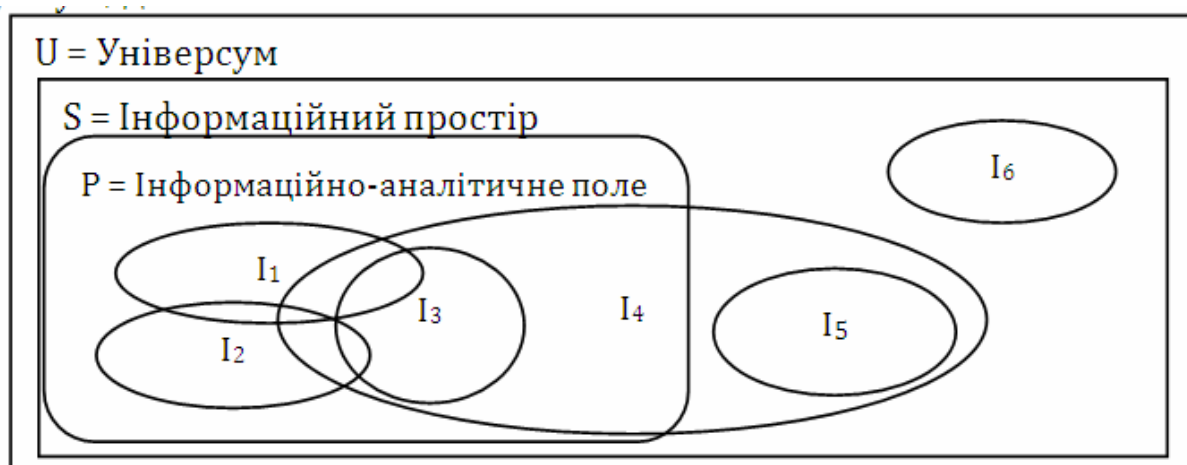


Рисунок 1 – Взаємозв'язок понять «інформаційний простір» та «інформаційне середовище»

1. «U» – Універсум, містить всю існуючу у всесвіті інформацію, що була, є, або може стати доступною для людства.
2. «S» – інформаційний простір, визначити який спробуємо нижче. Головними ж його особливостями вважаємо таке, що він є частиною Універсуму і містить інформацію, яка або відома, або може бути отримана наявними у споживачів засобами, де під споживачами розуміється все людство, як деякий соціум. О. Дубас відзначає, що у рамках кібернетичного підходу інформаційним простором називається сукупність джерел інформації, баз даних, технологій і мереж, які об'єднують їх. У філософсько-методологічному вимірі під інформаційним простором розуміється середовище поширення інформації в соціумі, що перебуває під впливом культурних, економічних, політичних, технологіч-

них та інших факторів У рамках семантичного підходу інформаційний простір моделюється як гіпертекстова структура, що включає різноманітні та взаємозалежні образи, знаки, концепти, тексти й документи, з якими відбуваються процеси кодування, передання, зберігання й інтерпретації інформації [5, с. 224].

3. «І» – інформаційне середовище деякі дослідники ототожнюють із інформаційним простором, що на нашу думку є невірним. Інформаційне середовище завжди штучне і пов'язане із споживачем інформації (суб'єктом) і визначається, власне, можливостями споживача щодо її отримання/сприйняття. Причому у ролі споживача можуть розглядатись як окремі фізичні особи, так і їх організована сукупність. Так буде суттєво відрізнятись інформаційне середовище грамотної і неписьменної людини, що фізично знаходяться у одному й тому ж читальному залі бібліотеки. Інформаційні середовища можуть перетинатись ($I_1 - I_4$), співпадати, міститись одне в одному (I_5) і, навіть, із певними допусками, бути ізольованими одне від одного (I_6).

4. «Р» – інформаційно-аналітичне поле. Про середовища ($I_1 - I_3$) говорять, що вони існують у спільному інформаційному полі. Середовище I_4 можна розглядати як інформаційне поле для середовищ I_3 та I_5 . Усі наведені вище визначення інформації передбачають наявність джерела та споживача, тобто йдеться про деякий вид взаємодії об'єктів. Взаємодію об'єктів, що веде до зміни інформації (в кількісному чи якісному вимірі) хоча б для одного з них, називатимемо інформаційно-аналітичною взаємодією.

Зауважимо, що в умовах сучасних інформаційних комунікацій всі об'єкти інформаційно-аналітичної взаємодії, не залежно від їх походження, прямо чи опосередковано взаємопов'язані між собою. Вся сукупність таких об'єктів, взаємозв'язків між ними разом із умовами їх функціонування являє собою деяку матеріально-енергетичну динамічну просторово-часову структуру. Така структура не є сталою. Її об'єкти певним чином здійснюють взаємовплив і обмінюються інформацією. Тобто, між окремими об'єктами існують канали по яким аналітична інформація передається, а сам об'єкт для повноцінної участі у взаємодії має бути здатним до дій із інформацією. Такими діями може бути створення (генерування) нової інформації, редагування (перетворення), передача (ретрансляція), отримання, зберігання, пошук, аналіз тощо. Організована сукупність інформаційних об'єктів і зв'язків між ними може утворювати ІАС. Взагалі, під ІАС будемо розуміти сукупність аналітичної інформації, що міститься в базах даних, інформаційних технологій та технічних засобів, що

забезпечують її обробку. Головною рисою є саме інформаційно-аналітична взаємодія. Необхідність практичного використання цієї взаємодії зумовлює необхідність не тільки якісного розуміння поняття «аналітична інформація», а й потребу в її кількісній інтерпретації.

Розглядаючи інформаційну взаємодію в технічних і живих системах, Н. Кузнецов [13] виокремлює п'ять видів підходів до визначення її кількості: ентропійний (1), алгоритмічний (2), комбінаторний (3), семантичний (4), прагматичний (5). У цілому погоджуючись із ним, долучимо до його класифікації шостий, синергетичний (6), запропонований В. Вяткіним [3] та додаємо, на нашу думку, нині актуальний – трансдисциплінарний (7) – у т. ч. – адаптивний (8) і онтологічний (9) – як різновиди [22, 27]. Перший, другий, третій та шостий види дають кількісне визначення складності описуваного об'єкта чи явища. Четвертий – визначає змістовність і новизну повідомлення, що передається для одержувача (користувача) повідомлення. Зрештою, п'ятий вид звертає увагу на корисність отриманого повідомлення для користувача. Також відмітимо, що за прагматичного підходу оцінювання кількості інформації, одержуваної приймачем, пропонується розкривати за ступенем її корисності задля досягнення поставленої мети. Такий підхід особливо привабливий для оцінки кількості аналітичної інформації в системах управління, в яких застосовується більш складна схема інформаційно-аналітичної взаємодії «джерело – приймач», ніж у концепції К. Шеннона. У них інформація розглядається не сама по собі, а як аналітичний засіб, за допомогою якого керуючий об'єкт «А» може впливати на керований об'єкт «В» з метою отримання бажаної поведінки цього об'єкта, що оцінюється критеріями якості [13]. Основна перевага перших чотирьох перелічених підходів до визначення кількості інформації полягає в тому, що вони спираються на строгі системи аксіом і підтримуються розвиненим математичним апаратом для дослідження властивостей визначення кількості аналітичної інформації. Основний недолік цих підходів полягає в тому, що в рамках цих формальних моделей не вдається оцінити змістовну суть кожного повідомлення, його семантику. Сьомий (трансдисциплінарний) – визначається синергією всіх означених підходів та описує трансформаційну методологію побудови і функціонування ІАС. За нашою точкою зору, найбільш наближеними до сучасних потреб у роботі з аналітичною інформацією із запропонованих підходів є семантичний і трансдисциплінарний, які перетинаються завдяки трансферу технологій засобами адаптивного і онтологічного моделювання. Адже, семантичні технології досить давно застосовуються при проектуванні та

реалізації інформаційних систем, вони знайшли своє відображення у різних методиках.

Дійсно, що семантика – це розділ лінгвістики, що встановлює відносини між символами і об'єктами, які вони позначають. Іншими словами, під семантикою розуміють науку, що визначає сенс знаків. Відмінною особливістю семантичних інформаційних систем є можливість обробки (зміна форми подання, пошук та ін.) семантичної інформації (вираженої знаками відомостей про виділені сторони об'єктів) [6, 7]. Тобто семантика – це певні сенси сукупностей, у т. ч. й аналітичної інформації.

Нагадаємо, що кількість інформації з позицій її доцільності визначається формулою:

$$I = \log \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

де p_1 , p_2 , – імовірності досягнення цілі після і до отримання повідомлення, відповідно [15]. Очевидною є характерна особливість семантичного підходу – визначена величина кількості аналітичної інформації є суб'єктивною. Дійсно, ймовірності досягнення цілі залежать не лише від інформації у даному повідомленні, але в дуже великій мірі від самого суб'єкта, що сприймає повідомлення, від інших його знань, умінь навичок [14]. Тому ще одним поняттям, значущим, на нашу думку, в окресленні вектору дослідження є «семантичне оточення». Таке оточення об'єкта дослідження є ще дрібнішим за масштабом об'єктом [ніж інформаційне середовище, – прим. авт.], який вкладено в інформаційне середовище та тісно пов'язано з об'єктом прямування. Таке оточення необхідно для однозначної інтерпретації об'єкта інформаційно-аналітичного поля та його інформаційної визначеності. Наприклад, семантичним оточенням інформаційної одиниці «слово» у реченні чи фразі, будуть пов'язані із цим словом символи та інші слова, і навіть такі інформаційні характеристики як позиція слова та вид його написання. Адже, семантичне інформаційне оточення є інформаційною моделлю семантичного поля понять [17].

На завершення огляду базових понять щодо з'ясування суті термінополя «ІАС» розглянемо дефініцію «онтологія». Онтологія може бути базовим інструментом семантичного аналізу, саме тим полем, у межах якого можна обчислювати смислову близькість семантичних інтерпретацій лексем тексту щодо найближчого оточення, тобто контексту. Побудова онтологій базується на фіксації логічних конструкцій, що містять у собі словники термінів тематичної

галузі та на описі визначень цих термінів, їх теоретично можливих та неможливих змістових зв'язків [22, 27]. Основою для побудови онтології можуть бути запити користувача.

Стисло наведемо математику процесу онтологічного моделювання. Більшість авторів розглядають так зване класичне уявлення онтології у вигляді триплету [16, 18, 25]:

$$O = \langle X, R, F \rangle \quad (2)$$

де O , власне, онтологія; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – кінцева множина концептів предметної області, а n – кількість елементів цієї множини; $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ – кінцева множина відносин між концептами предметної області, m – кількість значущих відносин; F – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах та відносинах онтології O (F – декартовий добуток $X \times R$ – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах та/або стосунках).

Частина авторів розглядають онтології предметної області як упорядковані четвірки даних:

$$O = \langle X, R, F, A \rangle \quad (3)$$

де A – множина аксіом, визначених у заданій предметній області [12]. Під аксіомами тут розуміють якийсь набір правил (не обов'язково незмінних), що необхідно враховувати під час побудови моделей.

Висновки. Отже, у контексті дослідження проаналізовано базові поняття, необхідні для розуміння поняття «інформаційно-аналітична система» такі, як: «інформація», «аналіз» і «система». Доведено що вони є дуже складними і багатоаспектними та мають безліч трактувань, а також трансдисциплінарно інтегрують в єдине термінополе інші базові категорії понять: «інформаційне середовище», «інформаційно-аналітична взаємодія», «семантичне оточення», «онтологія» та ін. У такий спосіб визначено взаємозв'язок між поняттями «інформаційний простір», «інформаційно-аналітичне поле» та «інформаційне середовище». Розкрито суть сучасного інформаційного середовища як множини інформаційних об'єктів, між якими здійснюється інформаційно-аналітична взаємодія. Наведене дослідження матиме подальший розвиток щодо вдосконалення термінології у сфері досліджень з проблем створення і функціонування ЕСО-середовищ ІАС та їх видів; уточнення математичного апарату в роботі з семантичним середовищем засобами онтологій; удосконалення дефінітивного апарату наукового дослідження з методології створення ІАС підготовки наукових кадрів на основі трансдисциплінарного підходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биков В., Руденко В. (1996). Системи управління інформаційними базами даних в освіті: навч. посіб., ІЗМН, 288 с.
2. Варенко В. М. (2014). Інформаційно-аналітична діяльність: навч. посіб. Київ: Університет «Україна», 417 с.
3. Вяткин В. Б. (2010). Введение в синергетическую теорию информации. Информационные технологии. Вып. 12. С. 67–73.
4. Глушков В. М. (1964). О кибернетике как науке. Кибернетика, мышление, жизнь, С. 53–62.
5. Дубас О. П. (2010). Інформаційно-комунікаційний простір: поняття, сутність, структура. Сучасна українська політика. Політики і політологи про неї. Вып. 19. С. 223–232.
6. Желязкова В. В. (2018). Семантика: теорія і практика: навч.-метод. посіб. для студ. спец. 035 Філологія («Прикладна лінгвістика»). Миколаїв: Ліон, 180 с.
7. Захарова В. І., Філіппова Л. Я. (2013). Основи інформаційно-аналітичної діяльності: навч. посіб. Київ: Вид-во «Центр учбової літератури», 336 с.
8. Зибін С. В., Хорошко В. О. (2019). Продуктивність і оптимізація спеціалізованих систем обробки інформації із структурою, яка конфігурується програмно. Informatics & Mathematical Methods in Simulation. Vol. 9. № 3. pp. 120–130.
9. Зибін С. В. (2020). Оптимізація розробки структур і трафіків передачі інформації в захищених корпоративних мережах. Кількісна оптимізація. Кибернетика: освіта, наука, техніка. Вып. 3 (7). С. 103–114.
10. Кадемія М. Ю. (2009). Інформаційно-комунікаційні технології навчання: термінологічний словник. Львів: Вид-во «СПЛОМ», 260 с.
11. Колмогоров А. Н. (1965). Три подхода к определению понятия «количество информации». Проблемы передачи информации. Т. 1. Вып. 1. С. 3–11.
12. Кривый С. Л. (2016). Формализованные онтологические модели в научных исследованиях. Управляющие системы и машины. Вып. 3. С. 4–15.
13. Кузнецов Н. А. (2001). Информационное взаимодействие в технических и живых системах. Информационные процессы, Т. 1, № 1, С. 1–9.
14. Маслянюк П. П., Ліссов П. М. (2007). Інформаційні ресурси та засоби їх створення. Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій : матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (11–13 грудня 2006 р., м. Луганськ), С. 141–145.
15. Маслянюк П. П., Ліссов П. М. (2007). Інформаційно-комунікаційні системи та технології обробки інформаційних ресурсів. Вісник КУЕІТУ «Нові технології». № 1–2(15–16). С. 20.
16. Норенков И. П. (2010). Интеллектуальные технологии на базе онтологий. Информационные технологии. № 1. С. 17–24.

17. Ожерельева Т. А. (2014). Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. № 10 (Ч. 2) С. 21–24.
18. Палагин А. В., Яковлев Ю. С. (2005). Системная интеграция средств компьютерной техники. Винница : УНІВЕРСУМ. 680 с.
19. Соколов Б. В., Алексеев А. В. (2001). Теория информации: эволюция взглядов и подходов, современные подходы и возможные пути развития. *Проблемы информатизации*. Вип. 3. С. 26–29.
20. Шеннон К. (1963). Работы по теории информации и кибернетике. 830 с.
21. Шрейдер Ю. А. (1965). Об одной модели семантической теории информации. *Проблемы кибернетики*. Вып. 13.
22. Guraliuk A. G., Rostoka M. L., Cherevychnyi G. S., Zakatnov D. O., Pavlysh T. H. (2021). Dual-Component Ontograph Visualization. *Journal IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* Vol. 1031 (012119). In: Scopus, Web of Science, Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012119> (in English).
23. Hartley R. V. L. (1928). *Transmission of Information*. Bell System Technical Journal. 7. С. 535–63 [пер: Хартли Р. В. Л. Передача информации. Теория информации и её приложения. Физматгиз, 1959].
24. Hartley R. V. L. (1955). *Information Theory of the Fourier Analysis and Wave Mechanics*, August 10, Publication Information Unknown.
25. Katifori A., C. Halatsis (2007). *Ontology Visualization Methods – a Survey*. ACM Computing Surveys (CSUR). Vol. 39. Issue 4, URL: <http://www.dit.unitn.it/~p2p/RelatedWork/Matching/a10-katifori.pdf>.
26. Kuzmenko O., Rostoka M., Dembitska S., Topolnik Y., Miastkovska M. (2022). Innovative and Scientific ECO Environment: Integration of Teaching Information and Communication Technologies and Physics. In: Auer M. E., Hortsch H., Michler O., Köhler T. (eds) *Mobility for Smart Cities and Regional Development – Challenges for Higher Education*. ICL 2021. vol. 390 LNNS. In: WoS, Scopus, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_4 (in English).
27. Rostoka M., Guraliuk A., Kuzmenko O., Bondarenko T., Petryshyn L. (2021). Ontological Visualization of Knowledge Structures Based on the Operational Management of Information Objects. In: Auer M. E., Rüttemann T. (eds). *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 1329. In: Scopus, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68201-9_82 (in English).

REFERENCES

1. Bykov V., Rudenko V. (1996). *Systemy upravlinnia informatsiinymy bazamy danykh v osviti: navch. posib.*, IZMN, 288 s.
2. Varenko V. M. (2014). *Informatsiino-analitychna diialnist: navch. posib.* Kyiv:

Universytet «Ukraina», 417 s.

3. Viatkyn V. B. (2010). Vvedenye v synerhetycheskuiu teoryiu ynformatsyy. Ynformatsyonnye tekhnolohyy. Vyp. 12. S. 67–73.
4. Hlushkov V. M. (1964). O kybernetyke kak nauke. Kybernetyka, myshlenye, zhyzn, S. 53–62.
5. Dubas O. P. (2010). Informatsiino-komunikatsiinyi prostir: poniattia, sutnist, struktura. Suchasna ukrainska polityka. Polityky i politolohy pro nei. Vyp. 19. S. 223–232.
6. Zheliazkova V. V. (2018). Semantyka: teoriia i praktyka: navch.-metod. posib. dlia stud. spets. 035 Filolohiia («Prykladna linhvistyka»). Mykolaiv: Ilion, 180 s.
7. Zakharova V. I., Filippova L. Ya. (2013). Osnovy informatsiino-analitychnoi diialnosti: navch. posib. Kyiv: Vyd-vo «Tsentr uchbovoi literatury», 336 s.
8. Zybin S. V., Khoroshko V. O. (2019). Produktyvnist i optymizatsiia spetsializovanykh system obrobky informatsii iz strukturoiu, yaka konfiguruetsia prohramno. Informatics & Mathematical Methods in Simulation. Vol. 9. № 3. pp. 120–130. 11p.
9. Zybin S. V. (2020). Optymizatsiia rozrobky struktur i trafikiv peredachi informatsii v zakhyshchenykh korporatyvnykh merezhakh. Kil'kisna optymizatsiia. Kybernetyka: osvita, nauka, tekhnika. Vyp. 3 (7). S. 103–114.
10. Kademiia M. Yu. (2009). Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii navchannia: terminolohichnyi slovnyk. Lviv: Vyd-vo «SPOLOM», 260 s.
11. Kolmohorov A. N. (1965). Try podkhoda k opredeleniyu poniatiya «kolychestvo ynformatsyy». Problemy peredachy ynformatsyy. T. 1. Vyp. 1. S. 3–11.
12. КЫВЫЙ S. L. (2016). Formalyzovannyye ontolohycheskye modely v nauchnykh yssledovaniya. Upravliaiushchye systemy y mashyny. Vyp. 3. S. 4–15.
13. Kuznetsov N. A. (2001). Ynformatsyonnoe vzaymodeistvie v tekhnicheskyykh y zhyvykh systemakh. Ynformatsyonnye protsessy, T. 1, № 1, S. 1–9.
14. Maslianko P. P., Lissov P. M. (2007). Informatsiini resursy ta zasoby yikh stvorennia. Suchasni tendentsii rozvytku informatsiinykh tekhnolohii : mater. Vseukr. nauk.-prakt. konf. (11–13 hrudnia 2006 r., m. Luhansk), S. 141–145.
15. Maslianko P. P., Lissov P. M. (2007). Informatsiino-komunikatsiini systemy ta tekhnolohii obrobky informatsiinykh resursiv. Visnyk KUEITU «Novi tekhnolohii». № 1–2 (15–16). S. 20.
16. Norenkov Y. P. (2010). Yntellektualnye tekhnolohyy na baze ontolohyi. Ynformatsyonnye tekhnolohyy. № 1. S. 17–24.
17. Ozhereleva T. A. (2014). Ob otnoshenyy poniatiy ynformatsyonnoe prostranstvo, ynformatsyonnoe pole, ynformatsyonnaia sreda y semantycheskoe okruzheniye. Mezhdunarodnyi zhurnal prykladnykh y fundamentalnykh yssledovaniy. № 10 (Ch. 2) S. 21–24.

18. Palahyn A. V., Yakovlev Yu .S. (2005). Systemnaia yntehratsiya sredstv kompiuternoї tekhnky. Vynnytsa : UNIVERSUM. 680 s.
19. Sokolov B. V., Alekseev A. V. (2001). Teoryia ynformatsyy: эволюцiяя vzhliadov y podkhodov, sovremennyye podkhody y vozmozhnyye puty razvytyia. Problemy ynformatyzatsyy. Vyp. 3. S. 26–29.
20. Shannon K. (1963). Raboty po teoryy ynformatsyy y kybernetyke, 830 s.
21. Shreider Yu. A. (1965). Ob odnoi modely semantycheskoї teoryy ynformatsyy. Problemy kybernetyky. Vyp. 13.
22. Guraliuk A. G., Rostoka M. L., Cherevychnyi G. S., Zakatnov D. O., Pavlysh T. H. (2021). Dual-Component Ontograph Visualization. Journal IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Vol. 1031 (012119). In: Scopus, Web of Science, Springer, Cham. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012119> (in English).
23. Hartley R. V. L. (1928). Transmission of Information. Bell System Technical Journal. 7. C. 535–63 [per.: Khartly R. V. L. (1959). Peredacha ynformatsyy. Teoryia ynformatsyy y eї prylozhenyia. Fyzmathyz.
24. Hartley R. V. L. (1955). Information Theory of The Fourier Analysis and Wave Mechanics, August 10, Publication Information Unknown.
25. Katifori A., Halatsis C. (2007). Ontology Visualization Methods – a Survey. ACM Computing Surveys (CSUR). Vol. 39. № 4. URL: <http://www.dit.unitn.it/~p2p/RelatedWork/Matching/a10-katifori.pdf>.
26. Kuzmenko O., Rostoka M., Dembitska S., Topolnik Y., Miastkovska M. (2022). Innovative and Scientific ECO Environment: Integration of Teaching Information and Communication Technologies and Physics; In: Auer, M.E., Hortsch, H., Michler, O., Köhler, T. (eds) Mobility for Smart Cities and Regional Development – Challenges for Higher Education. ICL 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 390 LNNS. In: WoS, Scopus, Springer, Cham. WOSUID: WOS:000754472400004, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_4/ (in English).
27. Rostoka M., Guraliuk A., Kuzmenko O., Bondarenko T., Petryshyn L. (2021). Ontological Visualization of Knowledge Structures Based on the Operational Management of Information Objects. In: Auer M. E., Rüttemann T. (eds). Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1329. In: Scopus, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68201-9_82 (in English).

Received 16.02.2022.

Accepted 18.02.2022.

Semantical Analysis of Basic Concepts of Research on the Construction of the Information and Analytical System Training of Scientific Staff

The relevance of support for research on the methodology of building information and analytical systems is determined by the separation and justification of basic concepts. In this context, based on view of the relevance of the topic of the article on the results obtained analytically, before proceeding to the practical aspects of building any information-analytical system, given the transdisciplinarity of scientific knowledge, it is always appropriate to conduct

structural-logical or semantic analysis terminology.

This makes it possible to clarify the essence and content of the basic concepts of research and to outline the vector of further research. It is noted that in the conditions of modern information communications all objects of information-analytical interaction, regardless of their origin, are directly or indirectly interconnected. The purpose of the research is to provide basic categorical-conceptual support for doctoral research on the methodology of building information and analytical systems. In this sense, the methods of content analysis, semantic and comparative analysis, ontological modelling, etc. were used, which allowed identifying several types of approaches to determining the amount of information exchanged by objects in the process of information interaction: algorithmic, entropic, combinatorial, ontological, semantic, synergistic, transdisciplinary and pragmatic. The results and conclusions of the research are in the range of issues that allow us to understand the essence of the definition of «Information-Analytical System»; the semantics of the terms «Information», «Information Object», «Information Environment», «Information Space», «Information-Analytical Interaction», «Semantic Environment», etc.; the special nature of information as such, which distinguishes it from matter and energy, is emphasized; it is noted that information exists only in the presence of its carriers, which have a material and energy form; the relationship between the concepts of «Information Environment», «Information-Analytical Field» and «Information Space» is revealed, which is derived from the content of the basic concept of «Information». The ontological approach as a basic tool of semantic (informational) analysis is studied (within which it is possible to calculate the semantic similarity of semantic interpretations of text tokens in relation to the immediate semantic environment, i.e. context); it is noted that the construction of ontologies is based on the fixation of logical constructions that contain dictionaries of terms of the thematic area and on the description of the definitions of these terms, their theoretically possible and impossible semantic connections; it is noted that the basis for building an ontology can be user requests; the mathematics of the process of ontological modeling is briefly presented. The current definition of «Information-Analytical System» based on the results of semantic analysis is given.

Ростока Марина Львівна – кандидат педагогічних наук, докторант кафедри інженерії програмного забезпечення факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії Національного авіаційного університету; старший науковий співробітник відділу наукового інформаційно-аналітичного супроводу освіти Державної науково-педагогічної бібліотеки України імені В. О. Сухомлинського, НАПН України (м. Київ).

Rostoka Marina – Ph.D of Pedagogical Sciences, Doctoral Researcher of the Software Engineering Department in Faculty of Cybersecurity, Computer and Software Engineering of National Aviation University; Senior Researcher of the Department of Scientific Information and Analytical Support of Education of the V. O. Sukhomlynskyi State Scientific and Pedagogical Library of Ukraine, NAES of Ukraine (Kyiv).

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАСТОСУВАННЯ
СЕЛЕКТИВНОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО НАГРІВУ
ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИРОБІВ З СКЛОПЛАСТИКІВ**

Анотація. Використання сучасних методів тверднення композитів потребує застосування селективного ІЧ нагріву, що дозволяє отримати склопластики з високими фізико-механічними характеристиками. Існуючі методи отвердіння склопластиків базуються на конвективному нагріві, дана методика не може забезпечити високий ступінь отвердіння композиту та вимагає значних витрат енергії при довгій тривалості процесу, тому, з метою зменшення енергетичних затрат, при виготовленні зразків з ПКМ, в роботі використано селективний метод ІЧ нагріву. В роботі запропоновано математичну модель, що дозволяє без проведення експерименту визначити ступінь полімеризації композитів у заданий час та при різних способах твердіння.

Ключові слова: епоксидне сполучне, полімер, склопластик, інфрачервоне випромінювання, отверднення композиції, селективний метод.

Постановка проблеми. Аналіз перспектив розвитку аерокосмічної техніки свідчить про збільшення кількості композитів у конструкціях літальних апаратів. Ця тенденція ставить виробників перед необхідністю модернізації технологічних процесів. Насамперед, це стосується зниження витрат енергії та скорочення часу на отвердіння полімерних зв'язуючих без зниження якості матеріалу [1]. Традиційні технології отвердження ґрунтуються на конвективному нагріві. Але низька теплопровідність полімерів і температурні градієнти, що виникають в процесі отвердження останніх, тривалі.

Необхідність в альтернативних технологіях полімеризації у виробках з ПКМ пов'язана не тільки з багатостадійністю традиційних процесів, але й з високими енергетичними затратами [2]. В даний час з метою інтенсифікації процесу отвердження композитів застосовують використання інфрачервоного випромінювання у процесі формування та отвердіння виробів.

При використанні селективного ІЧ-випромінювання, рахунок зонального включення джерел, і навіть спрямованого впливу променів, забезпечується максимальна рівномірність передачі енергії об'єкту складної форми.

Селективний ІЧ-нагрів інтенсифікує процес отвердіння завдяки впливу квантів енергії $h\nu$ на розвиток хімічних реакцій між макромолекулами, тобто виникають фотохімічні процеси взаємодії. Це дозволяє знизити енергоспоживання та покращити технологічний контроль. Завдяки більш рівномірному прогріву, збільшується однорідність мікроструктури отвердженого ПКМ. У роботі розроблено математичну модель, що описує процес отвердіння зв'язуючих при реалізації селективного ІЧ-нагріву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки в науковій літературі з'явилося багато інформації про застосування математичного моделювання до вибору раціональних технологічних режимів отвердіння композицій та проектування відповідного обладнання.

Розглянуті задачі були пов'язані з полімеризацією термореактивних зв'язуючих у склопластиках [3]. Отвердіння виробів з полімерних композиційних матеріалів методом гарячого пресування [4], процесом затвердіння виробів з полімерних композиційних матеріалів методом вакуумного автоклавного формування в технологічному пакеті, методом розрахунку оптимальних режимів отвердіння композитів.

В роботі [5] проведено порівняльний аналіз різних формулювань математичних моделей, що встановлюють взаємозв'язок тепломасообміну та теплових полів під час отвердіння випромінюванням на основі рівняння Нав'є-Стокса [6]. Показано основні особливості моделей залежно від властивостей речовини, що нагрівається, її агрегатного стану, мети дослідження та інших факторів.

Мета дослідження. Завдяки розробці чисельних методів, таких як метод кінцевих різниць і метод кінцевих елементів (МКР і МКЕ), відкрилися нові можливості більш повного обліку фізичних особливостей досліджуваних процесів. У багатьох випадках найбільш плідним виявився підхід до математичного моделювання нелінійних та нестационарних фізичних процесів із використанням методу кінцевих елементів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Процес полімеризації композиту в часі можна представити за допомогою функції стану $s(t)$, яка дорівнює одиниці на початку процесу при $t=0$, і нулю в кінці. Функція $s(t)$ показує, яка частина молекул композиту не полімеризована.

Процес отвердіння характеризується певною швидкістю полімеризації v , яка показує, яка частина композиту синтезується в одиницю часу. Якщо відома швидкість полімеризації v , то рівняння стану композиту можна записати у такому вигляді:

$$\frac{ds(t)}{dt} = -v. \quad (1)$$

Структуру швидкості v подати у вигляді суми двох швидкостей:

$$v = v_1 + v_2, \quad (2)$$

де v_1 – швидкість реакції, що обумовлена температурою тіла; v_2 – швидкість реакції, що обумовлена інфрачервоним опроміненням.

Механізм, що пояснює кінетику швидкості реакції v_1 , запропонував Арреніус [7]. Згідно з цим, для будь-якої хімічної реакції або будь-якої зміни агрегатного стану повинні подолати енергетичний бар'єр, який називається енергією активації. Кількість речовин, що мають енергію вище за енергію активації, залежить від її температури. Їх можна знайти за допомогою розподілу Больцмана. Частина речовин, що має енергію вище енергії активації, викликає необхідну реакцію. Величина цієї частини залежить від концентрації, тобто величини $s(t)$, що можна виразити формулою:

$$v_1 = k_1 s(t), \quad (3)$$

де k_1 – константа, що показує швидкість реакції при максимальній концентрації задіяних речовин, що вступають у реакцію ($s(t) = 1$).

Константа швидкості реакції залежить від абсолютної температури та визначається формулою Арреніуса.

$$k_1 = a_1 \sqrt{T} \exp \frac{-E_a}{RT}, \quad (4)$$

де a_1 – константа; T – абсолютна температура у градусах Кельвіна (К); R – універсальна газова постійна (8,31 Дж/К); E_a – енергія активації речовин, що виражається в одиницях Дж/моль.

Швидкість реакції v_2 , що обумовлена інфрачервоним випромінюванням, залежить від потужності інфрачервоного випромінювання, концентрації речовини, що ще не прореагувала, і її можна представити в наступному вигляді:

$$v_2 = C s(t) q, \quad (5)$$

де C – константа, що показує, яка частина випромінювання призводить до реакції полімеризації; q – потужність випромінювання у Вт.

Слід зазначити, що інфрачервоне випромінювання використовується як для інтенсифікації реакції полімеризації, так й для розігріву зразка до заданої температури. При цьому необхідність підтримки заданої температури є стримуючим фактором підвищення потужності випромінювання з метою прискорення швидкості реакції полімеризації. Це обмеження можна обійти, застосувавши штучне охолодження зразка, наприклад, шляхом обдування його повітрям.

Щоб визначити, як промениста енергія витрачається для розігріву зразка,

необхідно використовувати рівняння теплообміну.

Нехтуючи перерозподілом тепла всередині зразка завдяки теплопровідності, рівняння теплообміну запишемо як:

$$\rho c \frac{dT(t)}{dt} + a_3(T(t) - T_0) + a_4 T(t)^4 = q, \quad (6)$$

де ρ – щільність композиту; c – теплоємність композиту; a_3 – константа, що характеризує процес охолодження композитного зразка внаслідок теплообміну; T_0 – температура навколишнього середовища у градусах Кельвіна; T – температура композиту як функція часу; a_4 – константа, що характеризує втрату тепла внаслідок теплового випромінювання; t – час.

Зважаючи на те, що процес нагріву повільний або температура зразка постійна, перший член у рівнянні (6) малий і ним можна знехтувати. Також можна знехтувати і третім членом, оскільки втрати тепла внаслідок випромінювання зазвичай при температурах, близьких до нормальних, набагато менші, ніж втрати тепла внаслідок теплообміну. В результаті рівняння (6) можна подати у вигляді:

$$a_3(T(t) - T_0) = q. \quad (7)$$

Підставивши вираз для q з рівняння (7) до рівняння (5), отримаємо:

$$v_2 = a_2 s(t)(T(t) - T_0), \quad (8)$$

де a_2 – константа, що є добутком констант c і a_3 з рівнянь (5) і (7).

Складаючи вирази для величин швидкостей реакції в рівнянні (1), отримуємо диференціальне рівняння стану композиту:

$$\frac{ds(t)}{dt} = -a_1 \sqrt{T(t)} s(t) \exp \frac{-E_a}{RT(t)} - a_2 s(t)(T(t) - T_0). \quad (9)$$

Розділяючи змінні в рівнянні та проводячи інтегрування, отримуємо:

$$s(t) = \exp \int_0^t (a_1 \sqrt{T(t)} s(t) \exp \frac{-E_a}{RT(t)} - a_2 s(t)(T(t) - T_0)) dt. \quad (10)$$

Рівняння (10) є рівнянням стану. Воно включає три константи (a_1 , a_2 і E_a), які можна визначити експериментально.

Експериментальне визначення констант рівняння стану

Константи рівняння стану a_1 , a_2 та E_a можна визначити в результаті наступного експерименту. Проводилася полімеризація зразків композиту за трьома процесами. Позначимо номер процесу літерою j . Режим всіх трьох процесів можна виразити так:

- вільний підйом до $t^0 = 80^\circ\text{C}$;
- витримка при $t^0 = 80^\circ\text{C}$ протягом A_{1j} хвилин;
- вільне піднесення до $t^0 = 120^\circ\text{C}$;

- витримка при $t^0 = 120^\circ\text{C}$ протягом A_{2j} хвилин;
- вільне піднесення до $t^0 = 160^\circ\text{C}$;
- витримка при $t^0 = 160^\circ\text{C}$ протягом A_{3j} хвилин.

Температури експериментів, включаючи початкову $t_0 = 20^\circ\text{C}$, можна задати за допомогою вектора t_p для градусів Цельсія і T_p для градусів Кельвіна, а час проведення – за допомогою матриці:

$$t_p = \begin{pmatrix} 20 \\ 80 \\ 120 \\ 160 \end{pmatrix}, T_p = \begin{pmatrix} 293 \\ 353 \\ 393 \\ 433 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$A = \begin{bmatrix} 180 & 60 & 30 \\ 180 & 60 & 30 \\ 30 & 30 & 15 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Процеси відрізнялися тим, що у першому їх нагрів здійснювався конвективним способом, тоді як у другому і третьому – за допомогою інфрачервоного випромінювання різного спектрального складу. Після полімеризації зразки піддавалися спектральному аналізу, результати якого наведено на рисунку (1).

Результати спектрального аналізу показали, що для світла, хвильове число якого близько до 2900 1/см , спостерігається максимум поглинання. Освітлення при проведенні полімеризації зразків за другою та третьою технологіями здійснювалося за допомогою світла з хвильовим числом, також близьким до 2900 1/см , причому в третій технології спектр випромінювання за допомогою фільтрів був ще більш наближений до цього хвильового числа. Матриця A з формули (14) показує, що час полімеризації різко зменшується з наближенням частоти освітлення до хвильового числа 2900 1/см . Це свідчить, що енергія фотонів світла з хвильовим числом 2900 1/см є енергією активації реакції полімеризації.

Енергію фотона можна обчислити за формулою Ейнштейна:

$$E_\phi = h\nu, \quad (13)$$

де E_ϕ – енергія фотона; h – постійна Планка ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$); ν – частота світла.

Частота світла ν через хвильове число ρ виражається формулою:

$$\nu = c\rho, \quad (14)$$

де c – швидкість світла ($c = 299\,800 \text{ км/с}$).

Щоб отримати енергію активації реакції, необхідно енергію фотона помножити на число Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$). В результаті цих обчислень

отримаємо енергію активації реакції полімеризації, яка становить $E_a = 34,7 \text{ кДж/моль}$.

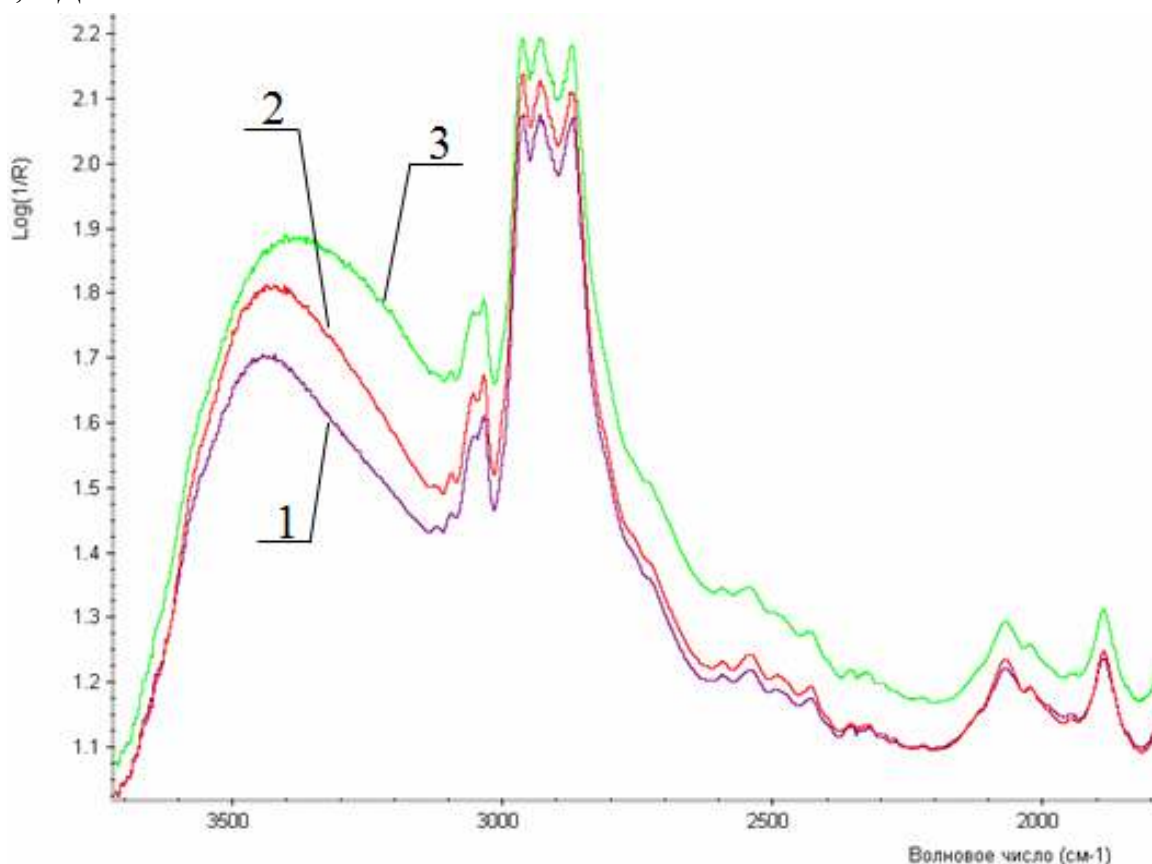


Рисунок 1 – Результати спектрального аналізу зразків, отверджених різними способами: 1 – процес; 2 – процес; 3 – процес

Для визначення константи a_1 скористаємося результатами полімеризації композиту за першим процесом. Так як для цього процесу інфрачервоний нагрів відсутнє, то $a_2 = 0$ і рівняння стану (10) набуде вигляду:

$$s(t) = \exp \int_0^t (a_1 \sqrt{T(t)} s(t) \exp \frac{-E_a}{RT(t)}) dt. \quad (15)$$

Константу a_1 можна винести за знак інтеграла. Зважаючи на те, що експонента ніколи не досягає нуля, необхідно визначити, за якої концентрації неполімеризованих молекул процес вважається завершеним. Припускаємо, що процес завершується при $S = 0,01$. Отримаємо рівняння для визначення a_1 :

$$a_1 = \frac{-\ln 0.01}{\exp \int_0^t (\sqrt{T(t)} s(t) \exp \frac{-E_a}{RT(t)}) dt}. \quad (16)$$

Вона представляється як сума шести інтегралів, які розбиваються на дві групи. У групі із трьох інтегралів із постійною температурою інтеграли легко

обчислюються, а в групі із трьох інтегралів із температурою, що змінюється у часі за лінійним законом, інтегрування необхідно проводити чисельно.

Константи a_2 для другого та третього процесів відрізняються. Їх можна виразити з рівняння стану (10):

$$a_2 = \frac{-\ln 0.01 - a_1 \int_0^t (\sqrt{T(t)} s(t) \exp \frac{-E_a}{RT(t)}) dt}{\int_0^t (T(t) - T_0) dt}. \quad (17)$$

Проміжок інтегрування інтегралів із формул (16) та (17) розбиваються на шість частин і самі інтеграли.

Результати інтегралів дають числове значення констант a_1 , a_2 - для другого процесу і a_2 - для третього.

Таким чином, всі три константи, що входять до рівняння стану (10), можливо визначити. Це дає змогу розрахувати ступінь полімеризації композиту будь-якої миті часу при різних сценаріях полімеризації.

Рівняння стану (10) з визначеними константами є математичною моделлю процесу полімеризації. Воно дозволяє теоретично, не проводячи натурних експериментів, прогнозувати результат полімеризації за різних температур і часу в елементах сценарію полімеризації.

При зміні складу композиту або конструкції з нього, а також параметрів інфрачервоного випромінювання необхідно знову експериментальним шляхом визначити три константи, після чого сценарій оптимального полімеризації процесу підбирається теоретично.

Висновки. На підставі класичних рівнянь та рівняння Арреніуса запропонована математична модель, що описує процес полімеризації композиту при спільній дії теплового потоку, селективного інфрачервоного випромінювання та зміни фізико-механічних характеристик матеріалу при затвердінні.

Розроблена математична модель процесу полімеризації дозволяє теоретично визначити, не проводячи натурних експериментів, ступінь полімеризації композиту будь-якої миті за різних способів затвердіння.

У математичній моделі розроблено спосіб визначення параметрів затвердіння, якими можна скористатися при встановлених режимах ІЧ випромінювання та застосування селективних фільтрів.

Виявлені закономірності та запропонована математична модель дозволяють прогнозувати перебіг процесів полімеризації при значній її інтенсифікації в тонкостінних склопластиках з метою отримання матеріалу з покращеними фізико-механічними характеристиками.

Запропонований метод математичної моделі підтверджується результатами експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копань В. С. Композиційні матеріали. – К.: Унів.вид-во «Пульсари», 2004. – 200 с.
2. Чернишов Є. О. Романов А. Д. Современные технологии производства изделий из композиционных материалов. / Современные наукоемкие технологии, 2014. № 2. С. 46-51.
3. Микроволновая обработка термореактивных и термопластических полимеров / Г.А. Морозов, О.Г Морозов, А.Р. Насубулин, Р.Р. Самубулин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2011. – Том. 14, номер. 3. - С. 114 – 121.
4. Дмитриев, О.С. Математическое моделирование процесса отверждения изделия из полимерных композиционных материалов методом горячего прессования / О.С. Дмитриев, С.В. Мищенко, С.В. Пономарев // Вестник ТГТУ. – 1998. Т. 4, № 4. – С. 390 – 399.
5. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.:ФИЗМАТГИЗ, 1963. – 1108 с.
6. Математическое моделирование конвективного теплообмена на основе уравнений Навье – Стокса / В.И. Полежаев, А.В. Бунэ, Н. А. Вerezуб и др. – М.: Наука, 1987. - 256 с.
7. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика. – М.: Мир, 2000. – 176 с.

REFERENCES

1. Kopan V.S. Kompozytsiini materialy. [Composite materials] – K.: Univ.vyd-vo «Pulsary», 2004. – 200 s.
2. Chernishov E. O., Romanov A. D. Sovremennyye tekhnologii proizvodstva izdeliy iz kompozitsionnykh materialov. / Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. [Modern technologies for the production of products from composite materials. / Modern high technologies] 2014. № 2. S. 46-51.
3. Mikrovolnovaya obrabotka termoreaktivnykh i termoplastichnykh polimerov [Microwave processing of thermosetting and thermoplastic polymers] / G.A. Morozov, O.G. Morozov, A.R. Nasybullin, R.R.Samigullin // Fizika volnovykh protsessov i radiotekhnicheskie sistemy. – 2011. – Vol. 14, no. 3. - Pp. 114 – 121.
4. Dmitriev, O.S. Mathematical modeling of the curing process of products from polymer composite materials by hot pressing [Mathematical modeling of the curing

process of a product made of polymer composite materials by hot pressing] / O.S. Dmitriev, S.V. Mishchenko, S.V. Ponomarev // Vestnik TSTU. - 1998. V. 4, No. 4. - С. 390 - 399.

5. Tables of integrals, sums, series and products [Tables of integrals, sums, series and products] / I.S. Gradshtein, I.M. Ginger. - M.: FIZMATGIZ, 1963. - 1108 p.

6. Mathematical modeling of convective heat and mass transfer based on the Navier-Stokes equations [Mathematical modeling of convective heat and mass transfer based on the Navier-Stokes equations] / V.I. Polezhaev, A.V. Bune, N. A. Verezub and others - M.: Nauka, 1987. - 256 p.

7. Stiller V. Arrhenius equation and non-equilibrium kinetics [Arrhenius equation and non-equilibrium kinetics]. — M.: Mir, 2000. — 176 p.

Received 16.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

Mathematical model of selective infrared heating application in the manufacture of glass-plastic products

Today's information resources offer a variety of rational composite structures hardening methods and equipment design for these processes. In parallel, there is literature that offers the mathematical modeling of the hardening process of polymer composite materials.

Due to the complexity and long duration of the structures polymerization process, there is a need to create a mathematical model for polymerization results predicting, using different temperatures and infrared radiation (including selective) time.

Performed the comparative analysis of different mathematical models based on the Navier-Stokes equation. Owing to the development of numerical methods, such as the finite difference method and the finite element method (MCR and FEM), new opportunities have opened up for a more complete physical features calculations of the studied processes. The polymerization process of the composite in time can be represented by the state function $s(t)$, which is equal to one at the beginning of the process at $t = 0$, and zero at the end. The hardening process is characterized by a certain polymerization rate v , which shows which part of the composite is synthesized per unit time.

A mechanism explaining the kinetics of the reaction rate v_1 was proposed by Arrhenius. Accordingly, for any chemical reaction or any change in the physical state of the body, the molecules must overcome the energy barrier, which is called the activation energy.

After analyzing the classical equations, a mathematical model was proposed, which describes the process of hardening the composite material under the combined action of heat flux and infrared radiation. A method for determining the parameters of a mathematical model based on the results of experimental research is proposed. A method of accounting for the parameters of infrared radiation in the presented mathematical model, which can be used for the selected spectrum of the radiation and the filters was used. Based on the Arrhenius Equation, a mathematical model was developed that describes the process of changing the physical and mechanical characteristics of composites during hardening. Having determined the constants of

the curing process a_1 , a_2 and E_a - the activation energy of the polymerization reaction, it is possible to estimate the degree of hardening of the composite at any time.

Сєдачова Катерина Григорівна - викладач, Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Манько Тамара Антонівн - доктор технічних наук, професор, професор кафедри Технології виробництва Фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Siedachova Kateryna - teacher, Rocket-and-Space Engineering College of Oles Honchar Dnipro National University.

Manko Tamara - Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Production Technology of the Faculty of Physics and Technology, Oles Honchar Dnipro National University.

О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, О.В. Задерейко, Н.І. Логінова

КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАТ-БОТІВ

Анотація. Нині чат-боти є актуальною темою численних наукових досліджень і перспективним напрямком на найближче майбутнє. Чат-боти повсюдно вбудовують на вебсайти, у різноманітні чати месенджерів чи то на інші форми комунікаційних платформ. Існують різні види чат-ботів і різні бачення того, як їх класифікувати. У дослідженні проаналізовано наукові праці зарубіжних і вітчизняних дослідників з означеної проблематики, в яких пропонуються різні підходи до класифікації чат-ботів. Сформовано детальну багатофакторну класифікацію чат-ботів для чіткого розуміння їх сутності, підходів до створення, переваг і недоліків за тією чи іншою ознакою. Дослідження та аналіз властивостей сучасних чат-ботів дозволили розділити програми чат-ботів за сімома критеріями: призначенням; місцем розташування; видом інтерфейсу; кількістю користувачів; формою доступу; алгоритмом; функціоналом. Кожна з цих категорій має поділ на групи та підгрупи за різними ознаками. Наведено можливі приклади чат-ботів відповідних категорій.

Keywords: чат-бот, класифікація, месенджер, діалог, штучний інтелект.

Постановка проблеми. Останнім часом спостерігається сплеск інтересу до чат-ботів як діалогових інтерфейсів взаємодії людей із комп'ютерними системами. Нині чат-боти повсюдно вбудовують на вебсайти, у різноманітні чати месенджерів чи то на інші форми комунікаційних платформ. Дослідження, проведене компанією Statista, показує, що до 2025 року обсяг світового ринку чат-ботів досягне \$1,25 млрд [1]. Такі цифри є доказом того, що в усьому світі усвідомлюють важливість чат-ботів у своєму бізнесі й вже включають їх в наявні інтернет-системи.

Чат-бот (chatbot) є певним віртуальним співрозмовником, який може виконувати різноманітні функції, залежно від сфери застосування. Чат-бот дозволяє імітувати невимушену природну розмову через обмін повідомленнями. Такі боти використовують технології штучного інтелекту. Чат-боти є незамінними помічниками у будь-якій сфері, де наявні великі обсяги комунікації з клієнтами. До того ж при розробці чат-ботів можна інтегрувати платіжні системи для онлайн-оплати при оформленні замовлень, що дозволяє суттєво покращи-

ти, спростити та пришвидшити взаємодію з клієнтами, позбавляє від потреби телефонувати їм. Застосування чат-ботів суттєво економить час, позаяк клієнт, який звернувся за підтримкою, отримує відповідь миттєво в режимі 24/7, без очікування на підключення оператора. При цьому він не стикається зі спамом, зайвими балачками, нав'язливими закликами, а отримує лише корисну інформацію.

Існують різні види чат-ботів. Одні націлені на інформування потенційних клієнтів, інші орієнтовані на продаж, треті діють виключно як особисті помічники. Чат-боти використовуються в таких областях, як сервіси електронної комерції, кол-центри, ігрова індустрія. Використання чат-ботів для таких цілей зазвичай обмежено вузькою спеціалізацією, і вони не можуть застосовуватися для широкого спектра спілкування з людиною. Все залежить від функціонала, закладеного в програму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні науковці мають різні бачення в тому, як класифікувати чат-боти. Відомим є підхід, коли виділяють два види класифікації [2]: 1) бізнес-класифікація чат-ботів та 2) класифікація чат-ботів за технічним типом (чат-боти на бізнес-правилах; чат-боти на штучному інтелекті; гібридні чат-боти). У дослідженні [3] пропонується узагальнена класифікація чат-ботів за іншими двома основними критеріями: за способом програмування і за можливостями застосування, що своєю чергою пропонується поділити на дві групи: за функціями, що реалізує чат-бот, і за призначенням. Є більш детальні класифікації програм чат-ботів. Приміром, у статті [4] наведено поділ чат-ботів на чотири групи: за метою, за різновидом доступу до даних, за доступними сервісами та за видом формування відповіді. У роботі [5] запропоновано класифікацію чат-ботів за п'ятьма ознаками: користувач, взаємодія з користувачем, доступ, призначення та принцип роботи. Автори робіт [6] класифікують чат-боти за такими ознаками: користувач, інтерфейс, призначення, принцип роботи та платформа, на якій працює чат-бот. Такі таксономії є доволі детальними, проте вони не враховують різновиди чат-ботів за функціональністю, за алгоритмом взаємодії та іншими критеріями. У межах різних дослідницьких позицій існують відмінні підходи до класифікації. Наведені наукові підходи свідчать про певну ситуативність досліджень у сфері таксономії чат-ботів, що свідчить про необхідність здійснення подальших наукових досліджень у цьому напрямі.

Мета дослідження полягає в формуванні багатофакторної класифікації чат-ботів для чіткого розуміння сутності, підходів до створення, специфіки чат-ботів за тією чи іншою ознакою.

Викладення основного матеріалу дослідження. Логічним є класифікувати чат-боти, розмежовуючи їх за критеріями. Дослідження та аналіз ознак сучасних чат-ботів дозволили розділити програми чат-ботів на сім класів (рис. 1).

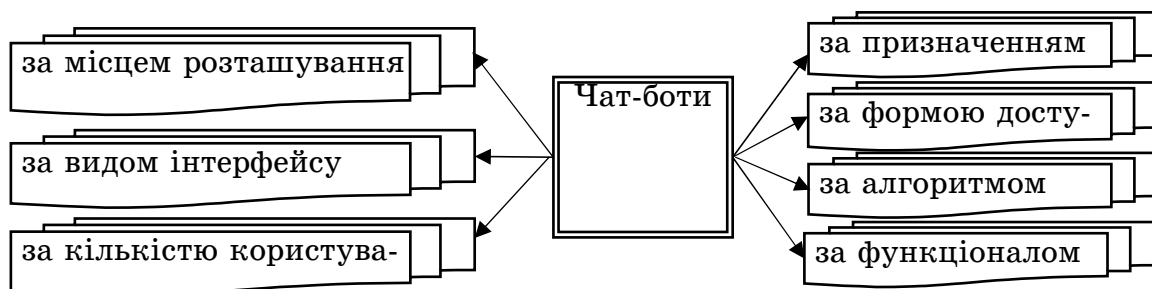


Рисунок 1 – Класифікація чат-ботів

За призначенням:

чат-боти для розмов на широкий спектр тем призначені для діалогу із користувачем на абстрактні теми та не мають певної чіткої мети;

чат-боти, орієнтовані на діалог тільки за певною тематикою або для вирішення певної проблеми, є найбільш поширеними, наприклад, для регулярної розсилки інформації, встановлення нагадувань тощо.

За місцем розташування:

на сайтах. Переважно компанії охоче вбудовують чат-боти на свої вебсайти, щоб допомогти клієнту відповісти на його запитання або вирішити інші комунікаційні запити або проблеми щодо унікальних завдань чи то налаштувань;

- *у месенджерах*. Використовуються здебільшого для швидкої взаємодії з клієнтами, навіть за умов повільного інтернету або за умов роумінгу, позаяк у більшості провайдерів зв'язку спілкування у месенджерах не тарифікується. Причиною створення та популярності тих чи інших груп у месенджерах Facebook Messenger, Slack, Viber або Telegram є поєднання певного кола осіб у групи за якимись спільними інтересами. Сфери інтересів не обмежуються комерційною складовою, а навпаки здебільшого стосуються культурно-просвітницьких складових нашого життя. Чат-боти можуть створюватися для особистого і ділового користування. Наприклад, логістична компанія може надавати копії диспетчерських документів через чат-бот;

- у спеціалізованих програмних застосунках використання чат-ботів полегшує і прискорює процес замовлення товарів або послуг, наприклад, замовлення їжі.

За видом інтерфейсу:

- *кнопковий* – спілкування користувача з ботом організовано через натискання кнопки на вибір у переліку кнопок із різними опціями. Такий інтерфейс може нагадувати голосове меню «натисніть 1, щоб дізнатися ...». Переважна частина простих чат-ботів працює саме за таким принципом. Такі чат-боти поширено використовують для замовлення товарів та послуг із переліку асортименту компаній у своїх чатах у месенджерах;

- *текстовий* – спілкування з користувачем відбувається у формі обміну текстовими повідомленнями. Чат-бот розпізнає слова, які часто зустрічаються в запиті користувача, уточнює питання і пропонує рішення;

- *змішані моделі* – для формування текстової відповіді на запити користувач може побачити кнопки з уточнювальними запитаннями. Прикладом таких чат-ботів є зручний засіб від комунальних служб для передачі показів лічильників, через який побутові споживачі електроенергії можуть передавати покази лічильників, поєднуючи натискання кнопок та формуючи текстові повідомлення певного наповнення відповідно до зазначених інструкцій у месенджері;

- *голосовий* – спілкування користувача відбувається у формі обміну голосовими повідомленнями. Голосове повідомлення спочатку перетворюють програмно на текст, аналізують його, а вже тоді синтезують аудіовідповідь на нього. Голосові помічники є більш природними та зручними, ніж графічні інтерфейси. Нині моделювання мовної взаємодії людини з комп'ютером, як із повноцінним співрозмовником, відіграє важливу роль у розробленні розмовних систем діалогу та автовідповідачів. Надалі дослідження, спрямованні на посилення голосової комунікації із сучасними мережевими обчислювальними пристроями, привертатимуть все більшу увагу, адже мова є одним із найефективніших видів людського спілкування;

- *інтерфейс виконання* – жодна система діалогу не обходиться без надійного інтерфейсу виконання, який потрібен для підключення віртуальних агентів до зовнішніх систем. Цей інтерфейс необхідний для зв'язку із зовнішніми системами для отримання динамічної інформації для продовження розмови або виконання певних передбачених дій. Адже інтерфейс бота відповідає не тільки за спосіб введення інформації, а й за методи взаємодії бота із цією

150

інформацією, тобто за підтримку команд, можливості пошуку та розпізнавання команд із повідомлення користувача і розуміння контексту діалогу.

За кількістю користувачів:

- *персональні чат-боти*, які своєю чергою, можна поділити на дві групи:
 - *для особистого користування без передачі даних іншим*. Це можуть бути персональні сховища систематизованих даних, наприклад, чат-боти для зберігання своїх власних спогадів у вигляді зроблених фото з можливою прив'язкою до геолокацій їх створення, наприклад, під час власних подорожей для створення пам'ятного особистого фотоальбому спогадів, або для формування і зберігання особистих записів та файлів користувача (фото, аудіо, відео тощо) із забезпеченням конфіденційності доступу до цих даних;

- *інтерагентні чат-боти* – своєрідні особисті помічники користувача у взаємодії (для обміну даними) з іншими користувачами або іншими програмами для виконання певних дій від імені користувача, наприклад, для керування календарем, відправлення текстів (приміром, вищезгаданий чат-бот від комунальних служб для передачі показів лічильників), приймання персональних викликів, пошуку і відтворення аудіо- та відеофайлів тощо. Боти-помічники допомагають документувати розпорядок користувача, нагадувати про заплановані завдання і зустрічі. Віртуальні помічники частково можуть замінити секретарів для деяких керівників. Іншим яскравим прикладом подібного бота є бот-юрист, який надає відповіді на різноманітні юридичні питання та допомагає сформулювати заяви до суду, наприклад, для оскарження штрафів за неправильне паркування, отримання компенсації за неочікувані витрати у подорожах;

- *ділові чат-боти* призначені для надання можливості одночасного бізнес-використання при автоматичному спілкуванні з багатьма клієнтами без залучення фізичних працівників фірми до процесу обслуговування. Існують різні підвиди таких чат-ботів, залежно від сфери ділового застосування і специфіки залучення клієнтів до діалогу. Такі чат-боти використовуються в багатьох сферах бізнесу для автоматизації комерційних процесів спілкування з клієнтами, а також виконання аналітичних та інших допоміжних функцій. Можливими нішами таких чат-ботів є сервіси інформування учасників певних груп і колективів, рутині інформаційні процеси виборчих кампаній та закладів вищої освіти, особливо на початку навчального року, служби бронювання і купівлі квитків, служби підтримки з доставки товарів, їжі, квітів тощо. Сфери та способи застосування цих ботів найрізноманітніші й залежать від креативності розробників.

За формою доступу:

- *чат-боти у певних групах (чатах) месенджера* є корисним засобом системи зв'язку між членами цієї групи та координації їх взаємодії. Наприклад, чат-бот факультету або всього закладу вищої освіти може ефективно поєднувати викладачів, керівництво та студентів, надаючи за потреби кожному з них деталізовану за певними критеріями інформацію щодо розкладу занять для очних та заочних форм навчання чи то іншу спеціалізовану інформацію про освітній процес;

- *чат-боти у діалозі месенджера* можна викликати безпосередньо в будь-якому діалозі, просто написавши символ @ та ім'я бота після нього. Після запуску чат-бота буде запропоновано зробити вибір опцій або дій, а результат можна переслати співрозмовнику діалогу або “поділитися” (Share) ним зі своїми друзями зі списку контактів;

- *чат-боти за підпискою* дозволяють збирати базу підписників чат-бота на своєму сайті та відправляти масові й персональні розсилки в месенджерах Facebook Messenger, Slack, Viber і Telegram, тим самим конвертувати користувачів у потенційних покупців. Підписувати користувачів на чат-бот можна в різний спосіб: за посиланням на бота на сторінці Facebook чи то в Telegram; знайшовши бота за @username; за прямим посиланням на чат-бот, розміщеному на сайті або в соціальних мережах; через віджет підписки або відповідний QR-код на сайті без переходу на сторінку Facebook або в Telegram.

За алгоритмом:

- *прості (обмежені) чат-боти* взаємодіють з користувачами за заздалегідь підготовленим скриптом – деревом рішень деревоподібної структури, який містить набір відповідей на поширені питання, тобто відповіді вибираються з шаблонних фраз сценарію за ключовими словами. Якщо при спілкуванні користувач не використовує ключові слова, то бот його не розуміє і виконує дії, передбачені для таких випадків, наприклад, пропонує звернутися до оператора. Зазвичай чат-боти такого типу уникають питань, що вимагають відповідей у вільній формі, а замість цього містять велику кількість кнопок. Функціональні можливості таких ботів обмежені, але для певних ситуацій вони можуть бути корисні. За допомогою спеціальних сервісів можна безкоштовно налаштувати простий чат-бот. Це дозволить спробувати та зрозуміти, чи є ця опція корисною для бізнесу;

- *інтелектуальні («розумні») чат-боти* мають у своїй основі штучну нейронну мережу, яка «розуміє» сенс розмови. Бесіда з таким чат-ботом більш ре-

алістична, він здатний жартувати й відправляти співрозмовнику смішні картинки, а релевантність його відповідей з часом зростає. Шлях розмови визначається неявно на основі тренувальних даних (навчальних вибірок), використаних для навчання моделі машинного навчання. Саме тому такі чат-боти потребують великих наборів даних для самонавчання, адже від цього залежить ступінь їх «розумності» і адекватності відповідей на питання. Такі програмні помічники розробляються індивідуально і набагато дорожчі у розробці, позаяк для створення якісного чат-бота маса зусиль вкладається в розробку штучного інтелекту (ШІ, Artificial Intelligence – AI) і машинне навчання нейронної мережі. При цьому ядро, на якому будується інтелектуальний чат-бот складають: NLP (Natural Language Processing) – здатність машини обробляти сказане, розуміти його значення, визначати необхідну дію у відповідь і відповідати мовою, зрозумілою користувачеві, шляхом перетворення комп'ютером тексту на структуровані дані; NLU (Natural Language Understanding) – основа будь-якого чат-бота, що по суті є підмножиною процесів NLP і відповідає за вміння комп'ютера вибрати, як найкраще опрацювати неструктуровані вхідні дані та перетворити їх на структуру, зрозумілу машині. Ця складова ядра є вкрай важливою для таких непередбачуваних даних як скорочення, видозмінені слова та слова, написані з помилками, сленг, нерозбірлива мова, метафори, які людина зрозуміє, а машина не може зрозуміти; NLG (Natural Language Generation) – процес перетворення комп'ютером структурованих даних на текст. По суті, це створення ботом тексту для спілкування з людиною зрозумілою для неї мовою. Одною з важливих особливостей такого чат-бота є можливість збирати інформацію про користувачів, відстежувати їхні дії, а потім за потреби проаналізувати їхні звички. Зібрані в процесі діалогу дані про користувачів дозволяють персоналізувати пропозиції і розсилку. Бот може використовуватися як інструмент налагодження смартпроцесів усередині компанії і при цьому взаємодія з ним відбувається у звичному і зручному інтерфейсі певного месенджера, наприклад, Telegram. Чат-бот засобами API дозволяє приєднатись до зовнішніх систем і синхронізуватись із корпоративними системами, наприклад: CRM, ERP, «Google Таблиці» тощо;

- *гібридні чат-боти* – це симбіоз чат-ботів перших двох типів. Такі чат-боти ведуть розмову з користувачем за наперед визначеним шляхом, але використовують ШІ для розпізнавання намірів користувача, а також для вилучення цінних даних із користувальницьких повідомлень (ПІБ, дата, період тощо). Даний тип чат-ботів самий широкоживаний у комерційних застосунках. У меди-

щині такі чат-боти можуть використовуватись насамперед для швидкої дистанційної попередньої діагностики. Крім того, засоби штучного інтелекту можуть використовуватись для аналізу даних здоров'я як окремих пацієнтів, так і прогнозування тенденції поширення вірусних захворювань на період сезонних коливань та можливих епідемій. Майбутнє в області охорони здоров'я залежить від здатності впровадження таких технологій [7], адже збір даних при опитуванні пацієнтів відбувається віддалено, що знижує навантаження на лікарів та зменшує ймовірність поширення інфекційних захворювань. Крім того, чат-боти в загальній та клінічній психології дозволяють користувачам спілкуватися про все, що вони хочуть, і є достатньо розумними, щоб задавати змістовні питання та відповідати на них [8]. Їх метою є психологічна допомога людям, які борються з депресією, особливо якщо їм не вистачає уваги та нема з ким поговорити про свою проблему.

За функціоналом:

- *інформаційно-комунікаційні* – чат-боти, які не мають конкретної мети й створені виключно для підтримки спілкування з людиною, щоб поділитися інформацією про спеціальні пропозиції та знижки, допомогти підібрати товар або послугу тощо. Нині однією з основних сфер застосування таких чат-ботів є розсилка рекламних оголошень, акційних пропозицій тощо. Тобто такі чат-боти використовують як потужний інструмент *маркетингу*. Дослідження [9-11] свідчать, що 90% повідомлень у месенджерах відкривають протягом 90 секунд після отримання, що в п'ять разів перевищує показники ефективності e-mail та SMS. При цьому витрати на розсилку набагато нижчі. Тому компанії зацікавлені в розширенні бази контактів і збільшенні обсягів продажів засобами відповідних чат-ботів;

- *«питання – відповідь»* – чат-боти (Q&A – questions and answers), створені давати прості відповіді за принципом «одне питання – одна відповідь»). Застосування такого чат-бота дозволяє суттєво знизити навантаження і витрати на службу підтримки, позаяк автоматизує обробку простих, часто повторюваних запитів від клієнтів. При цьому відбувається паралельне опрацювання необмеженої кількості заявок. Це дозволяє розвантажити команду і залучати менеджерів тільки за потреби вирішення складних завдань, тим самим оптимізувати витрати на персонал;

- *асистенти* – чат-боти, які з відповідей користувача формують дані для досягнення конкретних певних цілей, наприклад, при заповненні вебформ для банківської виписки, онлайн оформлення іпотеки тощо. У сфері *статистики*

такі боти корисні тим, що можуть автоматично відстежувати ціни на акції, відвідування вебсторінок сайту компанії або число контактів, створених напередні, формувати статистичні дані у зручному для користувача форматі тощо;

- *функціональні* – чат-боти, які дають можливість одразу виконати ті чи інші дії, наприклад, переказати гроші на рахунок, уточнити статус замовлення за його номером тощо. У галузі рекрутингу такий чат-бот вважається ефективною комунікаційною системою, яка успішно спрощує роботу менеджерів по персоналу та рекрутерів, автоматично збираючи та систематизуючи відповідні компетенції, навички та досвід під час автоматичного онлайн опитування кандидатів. Адже людські ресурси (HR) будь-якої організації відіграють важливу роль у будівництві та зростанні компанії, визначаючи ефективних та компетентних працівників [12]. Технологія, керована ШІ, перетворює складні проблеми в спрощені рішення. Такого роду чат-боти вдало визначають найкращих кандидатів, збільшують кількість заявок, адже працюють в режимі 24/7, автоматично планують проведення співбесід і відповідають на запитання кандидатів на роботу.

З винаходом чат-ботів організації стали ширше їх залучати для виконання робіт, орієнтованих на спілкування без будь-якого людського втручання. Чат-боти налагоджують стосунки, відповідають на запитання і сприяють кращому порозумінню серед працівників організації з урахуванням відповідних проблем, впливають на процес прийняття рішень в організації.

Чат-боти можуть мати різне призначення і різний функціонал, і саме від нього залежить вибір платформи, в якій вони працюватимуть, і засобів розробки. Після визначення вимог до створюваного чат-бота залежно від предметної області, треба розробити комунікаційну архітектуру, яка дозволить вибудувати ієрархію контенту для спілкування. Для цього варто провести опитування серед групи людей цільової аудиторії, структурувати контент і змодельовати схему діалогу бота, зібрати інформацію, необхідну для можливого подальшого навчання бота з метою повноцінного ведення ним діалогу і розуміння ним різних варіантів одного й того самого поняття для формування коректних відповідей.

Висновки. Розробка та запровадження чат-ботів є відносно молодим напрямом, який стрімко набирає популярності в найрізноманітніших сферах життєдіяльності. Тому тема є актуальною, а єдині підходи до класифікації чат-ботів за різними ознаками ще не вироблені. Проведений у статті аналіз різних підходів до таксономії сучасних чат-ботів виявив певні розбіжності та неузгодженості.

У роботі сформована багатофакторна детальна класифікація чат-ботів для чіткого розуміння сутності, підходів до створення, переваг і недоліків чат-ботів за тією чи іншою ознакою. Дослідження та аналіз властивостей сучасних чат-ботів дозволили розділити програми чат-ботів за сімома критеріями: призначенням; місцем розташування; видом інтерфейсу; кількістю користувачів; формою доступу; алгоритмом; функціоналом. Кожна з категорій має поділ на групи та підгрупи за різними ознаками. Наведено можливі приклади чат-ботів відповідних категорій.

Обґрунтовано, що чат-боти є одним з найбільш перспективних напрямків вебвзаємодії з користувачами. Це обумовлено, по-перше, активним використанням месенджерів, а по-друге, розвитком технологій штучного інтелекту. На перспективу чат-боти допоможуть спростити багато рутинних процесів, але не є альтернативою людині.

ЛІТЕРАТУРА

1. Size of the chatbot market worldwide, in 2016 and 2025 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/656596/worldwide-chatbot-market/>
2. Urayev D. A. Classification and methods for creating chatbot applications / D. A. Urayev // International scientific review. – 2019. – Vol. LXIV. – P. 30-33.
3. Прокопенко Т. О. Особливості використання чатботів для бізнесу у сучасних месенджер чатах / Т. О. Прокопенко, О. Б. Обойщик // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 11-16. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2019.165418.
4. Vishwakarma A. A Review & Comparative Analysis on Various Chatbots Design / A. Vishwakarma, A. Pandey // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2021. – Vol. 10(2). – P. 72-78. DOI: 10.47760/ijcsmc.2021.v10i02.011.
5. Ушакова І. О. Підходи до створення інтелектуальних чат-ботів / І. О. Ушакова // Системи обробки інформації. – 2019. – № 2(157). – С. 76-83. DOI: 10.30748/soi.2019.157.10.
6. Розробка інтелектуального чат-бота відділу міжнародного співробітництва / Дягилева О. С., Лещенко А. М., Пазяк А. І., Юрженко А. Ю. // Збірник наукових праць "Information Technologies in Education" (ITE). – 2020. – № 2 (43). – С. 17-27. DOI: 10.14308/ite000717.
7. A Review of AI Based Medical Assistant Chatbot / Ch. Bulla, Ch. Parushetti, A. Teli, S. Aski, S. Koppad // Research and Applications of Web Development and Design. – 2020. – Vol. 3(2). – P. 1-14. DOI: 10.5281/zenodo.3902215.
8. PRERONA: Mental Health Bengali Chatbot for Digital Counselling / A. Hussna, A. Laz, M. Sikder, J. Uddin, H. Tinmaz, A. Esfar-E-Alam // Intelligent Human Computer Interaction. – 2021. – P. 274-286. DOI: 10.1007/978-3-030-68449-5_28.

9. Виноградова О. В. Можливості месенджер-маркетингу для просування товарів та послуг в інтернеті / О. В. Виноградова, Н. І. Дрокіна, В. Г. Дарчук // Економіка. Менеджмент. Бізнес. – 2020. – № 1(31). – С. 11-20. DOI: 10.31673/2415-8089.2020.011120.
10. Pesonen J. ‘Are You OK?’ Students’ Trust in a Chatbot Providing Support Opportunities / J. Pesonen // 8th International Conference on Human-Computer Interaction HCI-2021 “Learning and Collaboration Technologies: Games and Virtual Environments for Learning”. – July 24-29, 2021. – P. 199-215. DOI: 10.1007/978-3-030-77943-6_13.
11. Тищенко А. Разработка чат-бота в качестве виртуального помощника для мотивации студентов к получению профессии / А. Тищенко // Эргодизайн. – 2021. – № 2(12). – С.140-144. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-140-144.
12. Majumder S. Are chatbots really useful for human resource management? / S. Majumder, A. Mondal // International Journal of Speech Technology. – 2021. – Vol. 24. – P. 969-977. DOI: 10.1007/s10772-021-09834-y.

REFERENCES

1. Size of the chatbot market worldwide, in 2016 and 2025 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/656596/worldwide-chatbot-market/>
2. Urayev D. A. Classification and methods for creating chatbot applications / D. A. Urayev // International scientific review. – 2019. – Vol. LXIV. – P. 30-33.
3. Prokopenko T. O. Specifics of using chatbots for business needs in modern messenger chats / T. O. Prokopenko, O. B. Oboishchyk // Bulletin of Cherkasy State Technological University. – 2019. – Vol. 1. – P. 11-16. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2019.165418.
4. Vishwakarma A. A Review & Comparative Analysis on Various Chatbots Design / A. Vishwakarma, A. Pandey // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2021. – Vol. 10(2). – P. 72-78. DOI: 10.47760/ijcsmc.2021.v10i02.011.
5. Ushakova I. Approaches to creating intelligent chatbots / I. Ushakova // Information processing systems. – 2019. – Vol. 2(157). – P. 76-83. DOI: 10.30748/soi.2019.157.10.
6. Development of intellectual chat-bot of the office of international cooperation / Diagileva O., Leshchenko A., Paziak A., Yurzhenko A. // Information Technologies in Education. – 2020. – № 2 (43). – С. 17-27. DOI: 10.14308/ite000717.
7. A Review of AI Based Medical Assistant Chatbot / Ch. Bulla, Ch. Parushetti, A. Teli, S. Aski, S. Koppad // Research and Applications of Web Development and Design. – 2020. – Vol. 3(2). – P. 1-14. DOI: 10.5281/zenodo.3902215.

8. PRERONA: Mental Health Bengali Chatbot for Digital Counselling / A. Hussna, A. Laz, M. Sikder, J. Uddin, H. Tinmaz, A. Esfar-E-Alam // Intelligent Human Computer Interaction. – 2021. – P. 274-286. DOI: 10.1007/978-3-030-68449-5_28.
9. Vynogradova O. Feasibility of messenger-marketing for promotion of goods and services on the Internet / O. Vynogradova, N. Drokina, V. Darchuk // Economics. Management. Business. – 2020. – № 1(31). – С. 11-20. DOI: 10.31673/2415-8089.2020.011120.
10. Pesonen J. 'Are You OK?' Students' Trust in a Chatbot Providing Support Opportunities / J. Pesonen // 8th International Conference on Human-Computer Interaction HCII-2021 "Learning and Collaboration Technologies: Games and Virtual Environments for Learning". – July 24-29, 2021. – P. 199-215. DOI: 10.1007/978-3-030-77943-6_13.
11. Tischenko A. Developing a chatbot as a virtual assistant to motivate students to get a profession / A. Tischenko // Ergodesign. – 2021. – Vol. 2(12). – P. 140-144. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-2-140-144.
12. Majumder S. Are chatbots really useful for human resource management? / S. Majumder, A. Mondal // International Journal of Speech Technology. – 2021. – Vol. 24. – P. 969-977. DOI: 10.1007/s10772-021-09834-y.

Received 16.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

Classification of chatbots

Today, chatbots are a hot topic of numerous scientific studies and a promising direction for the near future. With the invention of chatbots, which are an important area in the field of artificial intelligence and natural language processing, organizations have become more involved in performing communication-oriented work without any human intervention. Chatbots build relationships, answer questions and promote better understanding among employees of the organization, taking into account relevant issues, influence the decision-making process in the organization. Chatbots are embedded everywhere on websites, in various instant messaging chats, or on other forms of communication platforms. The current state and preconditions of demand for chatbots are considered in the work. The relevance of the use of chatbots for human interaction and the virtual environment is substantiated. The spheres of application of chatbots are considered, it is substantiated that chatbots are one of the most perspective directions of web interaction with users. This is due, firstly, to the active use of messengers, and secondly, the development of artificial intelligence technologies. In the long run, chatbots will help minimize many routine processes but are not an alternative to humans. A chatbot is a specific virtual interlocutor that can perform a variety of functions, depending on the scope. There are different types of chatbots and different visions of how to classify them. The study analyzes the scientific works of foreign and domestic researchers, which offers different approaches to the classification of chatbots. The detailed multifactor classification of chatbots for a clear understanding of essence, approaches to creation, advantages, and disadvantages of chatbots according to this or

that attributes is formed in the work. Research and analysis of the features of modern chatbots allowed to divide chatbot programs into seven criteria: purpose; location; type of interface; the number of users; a form of access; algorithm; functional. Each of these categories is divided into groups and subgroups on different grounds. Possible examples of chatbots of the corresponding categories are given.

Трофименко Олена Григорівна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія», Orcid ID: 0000-0001-7626-0886.

Прокоп Юлія Віталіївна - кандидат історичних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного університету «Одеська політехніка», Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6608-3668>.

Задерейко Олександр Владиславович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія», Orcid ID: 0000-0003-0497-9861.

Логінова Наталія Іванівна - кандидат педагогічних наук, завідувач кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія», Orcid ID: 0000-0002-9475-6188.

Trofymenko Olena - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Technologies of the National University "Odessa Law Academy".

Prokop Yuliya - Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Software Engineering of the Odessa Polytechnic National University.

Zadereyko Olexander - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Technologies of the National University "Odessa Law Academy".

Loginova Nataliia - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Technologies of the National University "Odessa Law Academy".

М.О. Федотова, І.О. Скриннік, І.А. Березюк,
Д.В. Трушаков, В.О. Зубенко, О.М. Сербул

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАГАТОВИМІРНОГО ОБ'ЄКТА
З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ І ЗАПІЗНЕННЯМ**

Анотація. Робота присвячена наступному етапу визначення опису динаміки зерносушарки з киплячим шаром як багатовимірною об'єктом з розподіленими параметрами із запізненням. Завдяки застосуванню методики структурно-параметричної ідентифікації отримано багатовимірну матрицю передаточних функцій зерносушарки та збурень, що діють на неї в реальних експлуатаційних умовах, що стане основою для синтезу системи автоматичного регулювання сушаркою.

Ключові слова. Киплячий шар, зерносушарка, каскади, теплоносій, спектральна щільність, сигнали «вхід-вихід», система автоматичного керування, матриця передаточних функцій, збурення.

Постановка проблеми. Проводячи аналіз результатів досліджень та вивчивши конструкції зерносушарок на відповідність вимогам сушіння, нами було встановлено, що в них, зазвичай, нагрів зерна нерівномірний, процес сушки надто затяжний, тому якісні параметри готового продукту мають низькі показники. Найбільшу відповідність у простоті, надійності конструкції та відсутності травматизму і перегрівання насіння з позиції забезпечення високих показників технологічної ефективності є сушіння в киплячому шарі, завдяки чому підвищується продуктивність обладнання та зменшуються енергетичні втрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету була розроблена сушарка для сушіння дисперсного матеріалу у киплячому шарі. Фото такої сушарки подано на рис. 1. Завдяки універсальності дана сушарка може застосовуватись для сушіння зернових та олійних культур.

Процес сушіння в такій сушарці відбувається наступним чином: зерно, потрапляючи на верхній каскад (№1) під дією напору повітря, що подається знизу конструкції з певною швидкістю через перфоровані касети (решета), починає розрихлюватись, збільшується в об'ємі і рухається з верхнього каскаду на каскад нижній (№7), нагадуючи собою в'язку речовину.

Автоматизація контролю і управління процесами обробки і зберігання зерна відкриває широкі можливості для підвищення ефективності використання, збільшення продуктивності поточних ліній, подальшого зниження затрат праці і покращення якості обробки зерна.

Глибина процесів, що відбуваються в киплячому шарі, ще не досить вивчена, а установки, в основу яких покладено принцип киплячого стану – не ідентифіковані. Автоматизація нового об'єкту – зерносушильної установки касетного типу з киплячим шаром – перш за все потребує дослідів, в ході яких потрібно виявити зв'язки між вхідними і вихідними величинами, побудову диференціальних рівнянь і визначення математичної моделі об'єкту, тобто його ідентифікувати. Тому на кафедрі «Автоматизації виробничих процесів» Центральноукраїнського національного технічного університету було проведено ряд паралельних дослідів, які стали основою для застосування розробленої методики ідентифікації складного багатовимірного об'єкту з розподіленими параметрами із запізненням.



Рисунок 1 – Фото сушарки з киплячим шаром

Значний вклад у розвиток автоматизації сушіння в киплячому шарі зробили такі визначні науковці як Баскаков А.С., Рашковська Н.Б, Романков П.Г., Забродський С.С., Мартиненко І.І, Федоров В.Г. та ін.. Їх нароби в якійсь мірі мають як переваги, так і недоліки [2].

Мета дослідження. На шляху синтезу системи автоматичного управління зерносушаркою з киплячим шаром, що являє собою [4] багатовимірний об'єкт з розподіленими параметрами із запізненням, необхідно виконати другий етап ідентифікації – це визначення математичної моделі сушарки у вигляді матриць передаточних функцій по каналам, що описують «вхід-вихід» об'єкта з урахуванням особливостей сушарки та знайдених спектральних та взаємоспектральних щільностей згаданих сигналів раніше знайдених.

Викладення основного матеріалу дослідження. Основними величинами (вхід-вихід) сушарки є: sh - зміна положення шиберу, що регулює подачу матеріалу безпосередньо в камеру сушіння, V - висота шару матеріалу на каскадах, ω - кінцева вологість зернового матеріалу, T – температура теплоносія (агента).

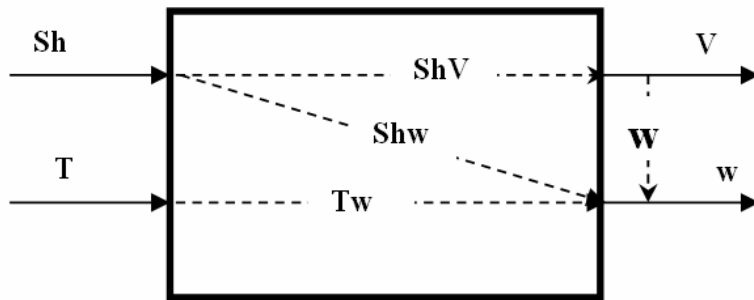


Рисунок 2 – Схема зв'язків вхідних і вихідних сигналів зерносушарки як об'єкта автоматизації

Ідентифікацію динаміки сушарки будемо проводити із застосування структурно-параметричної ідентифікації, сенс якої полягає у тому, щоб за відомими спектральними щільностями вимірних сигналів S_{ShSh} , S_{TT} , $S_{h_k h_k}$, S_{ww} і їх взаємними спектральними щільностями $S_{Sh h_k}$, $S_{Sh w}$, S_{Tw} , $S_{Sh w}$ та S_{wh_k} визначити структуру і параметри матриці передаточних функцій F_{k11}^k . Спектральні і взаємно спектральні щільності було знайдено в роботі [4]

Для визначення матриці передаточних функцій кожного з елементів множини моделей динаміки зерносушарки і матриці спектральних щільностей

збурень, що діють на відповідний елемент матриці в процесі роботи, був застосований метод ідентифікації з монографії [6].

Результат. Відповідно до цієї методики вихідними даними для розв'язання поставленої задачі є транспоновані матриці спектральних щільностей $(S^k_{uu})'$, $(S^k_{xx})'$ та взаємних спектральних щільностей $(S^k_{ux})'$ сигналів «вхід-вихід» зерносушарки, сформовані для каскаду з номером k . Нижче показано поетапне застосування зазначеної методики на прикладі каскаду №7. Решта розрахованих таким чином моделей об'єкта і збурень на основі даних інших шести каскадів наведені наведені у [1].

Згідно технології виконаємо підстановку виразів спектральних щільностей у відповідне рівняння, в результаті чого знайдемо наступні матриці S_{uu}^{-1} , S'_{ux} та S_{xx} для сьомого каскаду

$$S_{uu}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{-1718.2642(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)}{(s+0.025)(s-0.025)(s+0.4)(s-0.4)} & 0 \\ 0 & \frac{-512.8649(s+0.006)(s-0.006)(s^2+0.096s+0.0064)(s^2-0.096s+0.0064)}{(s+0.5)(s-0.5)(s+0.0055)(s-0.0055)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S'_{ux} = \begin{bmatrix} \frac{-0.0003(s+0.025)(s-0.025)(s+0.09)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.026)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ 0 \\ \frac{-0.00037(s+0.025)(s-0.025)(s+0.07)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.009)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.00035(s+0.5)(s-0.5)(s+0.07)(s+0.0055)(s-0.0055)}{(s+0.01)(s+0.006)(s-0.006)(s^2+0.096s+0.0064)(s^2-0.096s+0.0064)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$S_{xx} = \begin{bmatrix} \frac{-0.0009(s+0.09)(s-0.09)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.0022(s+0.0012)(s+0.1)(s^2-0.072s+0.0081)(s^2-0.14s+0.0196)}{(s+0.0015)(s+0.03)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.0022(s-0.0012)(s-0.1)(s^2+0.072s+0.0081)(s^2+0.14s+0.0196)}{(s+0.0015)(s+0.03)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.010843}{(s-0.012)(s+0.012)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Наступним кроком є формування матриці S'_{yy} ,

$$S'_{yy} = \begin{bmatrix} -0.0058 \left| \frac{(s+0.4)(s+0.025)}{(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \right|^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.00195 \left| \frac{(s+0.5)(s+0.055)}{(s+0.006)(s^2+0.096s+0.0064)} \right|^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Факторизація рівняння зв'язку, дозволила отримати матрицю $S_{\Delta x}$

$$S_{Ax} = \begin{bmatrix} \frac{0.027(s+0.1523)(s^2+0.1357s+0.0071)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{0.072894(s+0.026)(s^2+0.036s+0.0088)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.01025(s+0.003)(s+0.096)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{0.072281(s+0.09194)(s^2+0.046s+0.0041)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

В результаті факторизації матриці S'_{yy} була отримана матриця D

$$D = \begin{bmatrix} \frac{0.024124(s+0.025)(s+0.4)}{(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{0.044157(s+0.5(s+0.0055))}{(s+0.006)(s^2+0.096s+0.0064)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Матриця T має наступну структуру

$$T = \begin{bmatrix} T(1.1) & T(1.2) & T(1.3) & T(1.4) \\ T(2.1) & T(2.2) & T(2.3) & T(2.4) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де компоненти матриці (7) $T(i,j)$ описуються як

$$\begin{aligned} T(1.1) &= \frac{0.012393(s+0.4)(s+0.09)(s+0.025)}{(s+0.026)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ T(2.1) &= \frac{0.015539(s+0.4)(s-0.07)(s+0.025)}{(s+0.009)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ T(1.2) &= 0 \\ T(2.2) &= \frac{0.0079383(s+0.5)(s+0.07)(s+0.0055)}{(s+0.01)(s+0.006)(s^2+0.096s+0.0064)} \\ T(1.3) &= \frac{0.027247(s+0.1523)(s^2+0.1357s+0.007055)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ T(2.3) &= \frac{0.072894(s+0.02641)(s^2+0.03614s+0.008788)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ T(2.4) &= \frac{0.0723(s+0.09194)(s^2+0.04594s+0.004096)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Тоді, виконавши сепарацію виразу (7), знайдемо $T_0 + T_+$

$$T_0 + T_+ = \begin{bmatrix} \{T_0 + T_+\}(1.1) & \{T_0 + T_+\}(1.2) & \{T_0 + T_+\}(1.3) & \{T_0 + T_+\}(1.4) \\ \{T_0 + T_+\}(2.1) & \{T_0 + T_+\}(2.2) & \{T_0 + T_+\}(2.3) & \{T_0 + T_+\}(2.4) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де елементи матриці (3.8) мають наступний вигляд

$$\begin{aligned} \{T_0 + T_+\} (1.1) &= \frac{0.012393 (s+0.4) (s+0.09) (s+0.025)}{(s+0.026)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)}; \\ \{T_0 + T_+\} (2.1) &= \frac{0.015539 (s+0.4)(s-0.07)(s+0.025)}{(s+0.009)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)}; \\ \{T_0 + T_+\} (1.2) &= 0; \\ \{T_0 + T_+\} (2.2) &= \frac{0.0079383 (s+0.5)(s+0.07) (s+0.0055)}{(s+0.01) (s+0.006) (s^2+0.096s+0.0064)}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \{T_0 + T_+\} (1.3) &= \frac{0.027247 (s+0.1523) (s^2+0.1357s+0.007055)}{(s+0.05) (s+0.03) (s^2+0.108s+0.0081)}; \\ \{T_0 + T_+\} (2.3) &= \frac{0.072894(s+0.02641)(s^2+0.03614s+0.008788)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)}; \\ \{T_0 + T_+\} (1.4) &= \frac{-0.01025(s+0.003)(s+0.096)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)}; \\ \{T_0 + T_+\} (2.4) &= \frac{0.0723(s+0.09194)(s^2+0.04594s+0.004096)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Завершальним кроком методики ідентифікації є визначення шуканої блочної матриці Φ , структура якої наступна: $\Phi=[F_{11}, F_{12}]$, де матриця передаточних функцій від вектору сигналів керування до вектору вихідних координат F_{11} дорівнює

$$F_{11} = \begin{bmatrix} \frac{0.51373e-05(s+0.09)}{(s+0.03)} & 0 \\ \frac{0.64413e-02(s-0.07)}{(s+0.01)} & \frac{0.17955(s+0.07)}{(s+0.01)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_1(\Delta)(s+w_1(\Delta))}{s+w_2(\Delta)} e^{-s\tau_{Shh}(\Delta)} & 0 \\ \frac{\alpha_2(s-\varphi)}{s+p_2} e^{-s\tau_{Shw}} & \frac{\alpha_3(s+\varphi)}{s+p_2} e^{-s\tau_{Tw}} \end{bmatrix}; \quad (12)$$

де τ_{Shh} , τ_{Shw} , τ_{Tw} – запізнення між сигналами «вхід-вихід»: шибер – висота матеріалу на кожному каскаді ($S_h - h$), шибер – вологість ($S_h - w$), температура – вологість ($T - w$) відповідно. В табл.. 1 зведені дані по всім семи каскадам.

А матриця передаточних функцій формувального фільтру збурень F_{12} виглядає

$$F_{12} = \begin{bmatrix} \frac{2.7247e-05(s+0.1523)(s^2+0.1357s+0.007055)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{-1.025e-05(s+0.002993)(s+0.09572)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ \frac{0.072894(s+0.02641)(s^2+0.03614s+0.008788)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{0.072281(s+0.09194)(s^2+0.04594s+0.004096)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} \end{bmatrix}$$

Таблица 1

Параметри елементів матриці F^k_{11}

Каскад (k)	$\alpha_1, \text{м/м}$ $\times 10^{-1}$	$\alpha_2, \text{\%/м}$ $\times 10^2$	$\alpha_3, \text{\%/}^\circ\text{C}$	$w_1, \text{с}^{-1}$	$w_2, \text{с}^{-1}$	$\varphi, \text{с}^{-1}$	$p_2, \text{с}^{-1}$	$\Delta, \text{м}$ $\times 10^{-2}$
№1	1.0389	0.64413	0.17955	0.15	0.022	0.07	0.01	15
№2	0.83932	0.64413	0.17955	0.1	0.015	0.07	0.01	30
№3	0.7166	0.64413	0.17955	0.1	0.018	0.07	0.01	45
№4	0.62788	0.64413	0.17955	0.09	0.02	0.07	0.01	60
№5	0.55393	0.64413	0.17955	0.085	0.022	0.07	0.01	75
№6	0.53007	0.64413	0.17955	0.08	0.025	0.07	0.01	90
№7	0.51373	0.64413	0.17955	0.09	0.026	0.07	0.01	105

де каскад №1 – верхній, каскад №7 – найнижчий; Δ – відстань між каскадами

Висновки. Отримані таким чином матриці передаточних функцій зерносушарки дозволять розпочати процедуру синтезу системи автоматичного керування з урахування особливостей сушарки, а саме: багатовимірності, розподіленості та запізненості в каналах керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федотова М.О. Автоматизація процесу стабілізації висоти киплячого шару насіння у зерносушарці за неповними вимірами: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.13.07. Кропивницький, 2017.276 с.
2. Sergey Osadchy, Valentina Zubenko, Marianna Fedotova. Synthesis of an Optimal Stochastic Stabilization System for an Unstable Multivariable Object with Time Delays in Controls. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October, 16-18, 2018 Kyiv, Ukraine. P. 114-118
3. Trushakov, D., Kozlovskiy, O., Rendzinyak, S., Fedotova, M., Korud, V. Automated System for Measuring the Temperature of the Desiccator Proceedings of 2020 IEEE 21st International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2020, 2020, 9238716 Conference Paper.
4. Федотова М.О., Скриннік І.О., Осадич С.І., Трушаков Д.В. Ідентифікація сигналів як один з етапів синтезу системи стабілізації висоти киплячого шару в зерносушарці «Системні технології» 4 (135) 2021 «System technologies» [DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-09]
5. Трушаков Д., Козловський О., Рендзіняк С., Коруд В., Федотова М. Автоматизована система фільтрації завод під час вимірювання температури сушильної шафи. Електроніка та інформаційні технології. 2021. Випуск 15. С. 80–89

tronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html]

6. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, монография. К.: НАУ, 2006. 438 с

REFERENCES

1. Fedotova MO Automation of the process of stabilizing the height of the fluidized bed of seeds in the grain dryer by incomplete dimensions: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.13.07. Kropyvnytskyi, 2017. 276 p.

2. Sergey Osadchy, Valentina Zubenko, Marianna Fedotova. Synthesis of an Optimal Stochastic Stabilization System for an Unstable Multivariable Object with Time Delays in Controls. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October, 16-18, 2018 Kyiv, Ukraine. P. 114-118.

3. Trushakov, D., Kozlovskyi, O., Rendzinyak, S., Fedotova, M., Korud, V. Automated System for Measuring the Temperature of the Desiccator Proceedings of 2020 IEEE 21st International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2020, 2020, 9238716 Conference Paper.

4. Fedotova MO, Skrynnik IO, Osadichy SI, Trushakov DV Identification of signals as one of the stages of synthesis of the fluidized bed height stabilization system in the grain dryer "System Technologies" 4 (135) 2021 «System technologies» [DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-09]

5. Trushakov D. Kozlovsky O., Rendzinyak S., Korud V., Fedotova M Automated noise filtration system during drying cabinet temperature measurement. Electronics and information technology. 2021. Issue 15. pp. 80–89 Electronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html]

6. Azarskov VN Methodology of designing optimal systems of stochastic stabilization / V.N. Азарсков, Л.Н. Blokhin, L.S. Zhitetsky, monograph. К .: NAU, 2006. 438 p

Received 18.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

Application of the method of structural-parametric identification to determine the of mathematical model of a multidimensional object with distributed parameters and delay

Drying is one of the most responsible and energy-intensive post-harvest grain processing operations. The constant rise in heat prices has led to the search for new designs of grain dryers, or improvements to existing ones. Studies of well-known scientists such as Romankov, Rezchikov, Rashkovskaya have proven the potential effectiveness of using a fluidized bed for drying grain.

The degree to which this drying efficiency approaches the potential is determined by how much the change in the actual humidity of the material during drying approaches the theoretical drying curve at the same resource consumption and the same initial state of the material to be dried.

Taking into account the provisions of the theory of optimal control indicates that maximizing the accuracy of stabilization of a given value of the height of the fluidized bed should be achieved by developing an optimal multidimensional stabilization system of the specified height. The basis for solving the first of these is the study of the design of a fluidized bed grain dryer.

The decomposition of the grain dryer allows to present it in the form of a set of multidimensional objects with pure delay. The size of this set is determined by the number of cascades, and the dynamic characteristics of its elements depend on the distance of the cascade to the gate Δ .

Automation of control and management of processes of processing and storage of grain opens wide opportunities for increase of efficiency of use, increase of productivity of current lines, further reduction of labor costs and improvement of quality of processing of grain. If today most of the known dryers have their own mathematical model, this fluidized bed dryer is new, incompletely studied and therefore needs its own mathematical description in order to develop a system of automatic control of its parameters.

Therefore, this paper shows the practical application of the technique of identification of signals "input-output" of the dryer for the dispersed material of the cascade type. According to the spectral and mutual spectral densities of the signals, using the technology of structural-parametric identification, a matrix of transfer functions of the dryer was found, which is a multidimensional dynamic object with distributed parameters with delay, which is affected by various perturbing factors.

Федотова Маріанна Олександрівна - асистент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Скриннік Іван Олександрович - доцент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Березюк Ірина Анатоліївна - доцент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Трушаков Дмитро Володимирович - доцент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Зубенко Валентина Олександрівна - доцент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Сербул Олександр Миколайович - доцент Центральноукраїнського національного технічного університету.

Fedotova Marianna - assistant Central Ukrainian National Technical University.

Skrynnik Ivan - associate professor Central Ukrainian National Technical University.

Berezyuk Irina - associate professor Central Ukrainian National Technical University.

Trushakov Dmitro - associate professor Central Ukrainian National Technical University.

Zubenko Valentyna - associate professor Central Ukrainian National Technical University.

Serbul Olexandr - associate professor Central Ukrainian National Technical University.

О.К. Бразалук, Ю.В. Бразалук, О.І. Губін

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Анотація. Розглядаються системи термостабілізації, основані на використанні прихованої теплоти фазового переходу, для чого в теплозахисний шар внесені включення іншої фази зі спеціально підібраною температурою фазового переходу. Для розрахунку поля температур використовувався метод граничних елементів, а включення іншої фази моделювалися точковими джерелами тепла. Ефективність запропонованого підходу підтверджена результатами чисельних розрахунків.

Ключові слова: термостабілізація, фазовий перехід, метод граничних елементів, точкове джерело тепла, математична модель.

Вступ

Розвиток сучасної техніки та технологій ставить перед теоретичними науками численні нові задачі, але, водночас, ці процеси розвитку змушують з іншого погляду подивитися на вже існуючі і добре відомі проблеми. Прикладом такої принципової зміни погляду на вже давно існуючу проблематику може бути модифікований нині підхід до проектування та використання систем термостабілізації. Традиційно система термостабілізації, тобто система захисту від екстремальних термічних впливів, була спрямована на попередження або надмірного нагріву, або надмірного охолодження виробів. Маючи на меті подолання одного лише різновиду теплового впливу, фактично створювалися системи теплового захисту в розумінні, розвиненому в чудовій серії робіт Ю. В. Полежаєва [1 - 3], і в цьому напрямку були досягнуті вражаючі успіхи, особливо в області теплового захисту апаратів ракетно-космічної техніки, що спускаються (дивиться вже згадувані роботи Ю. В. Полежаєва [1 - 3]). Однак в даний час, в першу чергу, у зв'язку з успіхами біотехнологій, з'явилися принципово інші задачі, в яких потрібно забезпечити тепловий режим виробу, що захищається, в строго визначених і досить близьких між собою температурних межах. Більшість традиційних систем теплового захисту, охолодження та обігріву виявилися погано пристосовані для розв'язання подібних задач.

Серед принципів теплового захисту, що використовуються в сучасній практиці, найефективнішими вважаються технології активного теплового захисту, які ґрунтуються на прихованій теплоті фазових переходів. Цілком природною видається ідея використовувати такий принцип у нових системах термостабілізації у вузькому діапазоні температур. Для цього в теплозахисний шар слід внести включення іншої фази з температурою фазового переходу, близькою до однієї з граничних температур необхідного діапазону.

Загальна постановка задачі та її актуальність

Розглянемо деяку систему, що займає заданий об'єм і потребує підтримки температури в заданому діапазоні, наприклад, сховище біологічних матеріалів. При короткочасних небажаних теплових впливах системі може бути нанесена певна шкода, тому дана технологічна система повинна бути доукомплектована системою теплового захисту, а для довготривалих негативних термічних впливів необхідно застосовувати стандартні засоби охолодження/обігріву. Система теплового захисту, укомплектована засобами локального поглинання теплових потоків, працює як система термостабілізації. Обмежена кількість об'єктів іншої фази має бути внесена в теплозахисний шар, при цьому об'єкти іншої фази мають бути досить малі. Задача вибору місць розташування розглянутих включень та їх теплофізичних параметрів є досить нетривіальною і призводить до істотних математичних труднощів. Доцільним буде передування розгляду зазначеної повної задачі розвитку методів розрахунку полів температури в системах термостабілізації на основі фазових переходів, що і є предметом досліджень цієї роботи.

Витоки дослідження авторів

Класична теорія систем теплового захисту вже давно розроблена на досить високому науковому рівні [1 - 3]. Однак описані вище системи термостабілізації все ще знаходяться на стадії розробки і не стали предметом скільки-небудь помітних публікацій. З іншого боку, як згадувалося раніше, геометричні розміри включень іншої фази істотно менше розмірів об'єкта в цілому, що породжує багатомасштабну задачу з усіма труднощами, притаманними розв'язанню таких задач.

Щоб подолати труднощі, пов'язані з багатомасштабним характером задачі, теплові ефекти включень іншої фази моделювалися точковими джерелами тепла, а для розрахунку поля температур застосовувався метод граничних елементів [4 - 7], який легко враховує наявність точкових джерел тепла [8].

Мета роботи

На підставі вищевикладеного досить просто вказати мету роботи як побудову математичної моделі та подальшу розробку методів розрахунку систем термостатування, заснованих на ефекті прихованої теплоти фазових переходів локалізованих включень іншої фази.

Математична модель системи термостабілізації

Розглянемо поле температур у теплозахисному покритті. Вважаємо, що система термостабілізації працює належним чином, а заданий діапазон температур такий, що теплофізичні властивості матеріалу теплозахисного покриття є сталими. Тоді

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \sum_{i=1}^M q_i(\tau) \delta(x, x_i, y, y_i, z, z_i), \quad (1)$$

де τ – час, a – коефіцієнт температуропровідності, x, y, z – просторові декартові координати, δ – функція Дірака, q_i – функції інтенсивності джерел, які докладно розглянемо нижче.

Рівняння (1) має бути доповнене початковими та граничними умовами. Не зменшуючи загальності, можна покласти

$$T(\tau = 0) = T_0, \quad T_{low} < T_0 < T_{up}, \quad (2)$$

де $T_0 = const$; T_{low}, T_{up} – нижня та верхня межі заданого діапазону температур.

Граничні умови на зовнішній поверхні теплозахисного шару можуть бути задані будь-якого з основних традиційних типів - першого, другого або третього роду (заради стислості, наводити їх тут не будемо). На внутрішній поверхні теплозахисного шару повинні бути поставлені умови сполучення з полем температури тіла, що захищається. Для того, щоб поставити такі умови, слід розглянути можливу теплофізичну природу тіла, що захищається. Як правило, об'єкт, що захищається, являє собою складну структуру з дискретною природою, наприклад, електронні пристрої, що використовуються у високотемпературному середовищі, рідше внутрішня структура досить однорідна, наприклад, біологічні матеріали. У будь-якому випадку, розв'язання задачі термостабілізації спільно з задачею тепломасообміну всередині області, що захищається, пов'язане з практично непереборними обчислювальними труднощами. Тому при чисельному аналізі роботи системи термостабілізації доцільно використовувати дві граничні моделі тіла, яке захищається: тверде тіло з деякою ефективною теплопровідністю і інтегральну теплоємність зі сталою за об'ємом темпе-

ратурою, що характерно, наприклад, для перемішуваних рідких або газоподібних середовищ. Для цих двох випадків граничні умови на внутрішній поверхні теплозахисного шару ставляться очевидним чином: умови четвертого роду (умови ідеального теплового контакту) у першому випадку та умова першого роду – у другому. Саме на внутрішній поверхні теплозахисної системи слід ставити цільові умови термостабілізації (до постановки крайової задачі для рівняння (1) ці умови відношення не мають, але вони є критерієм аналізу результатів розв’язання зазначеної крайової задачі, в кінцевому підсумку цільові умови служать для раціонального вибору параметрів системи термостабілізації). Цільові умови можуть бути поставлені різним чином: за сумарним тепловим потоком, за максимальною температурою на даній границі, за середньою температурою тіла – залежно від об’єкта, що захищається.

Повернімося до джерельних членів у рівнянні (1). Для кожного з джерел введемо температуру фазового переходу, $T_{p.t.i}$ близьку до T_{low} або T_{up} . Тоді визначимо інтенсивність джерела як

$$q_i = (T(x_i, y_i, z_i) - T_{p.t.i})\alpha_i, \quad (3)$$

де $T(x_i, y_i, z_i)$ – температура в точці розташування джерела; α_i – коефіцієнт, який визначається емпірично або теоретично. Коефіцієнт α_i може змінюватися у часі залежно від передісторії нагріву/охолодження, крім того, цей коефіцієнт залежить від конструктивних особливостей включення Q_i . Введемо ще сумарну теплоємність включення. Очевидно, що

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = -q_i, \quad (4)$$

а саме Q_i має деяке початкове значення Q_{i0} . Після того, як значення Q_i досягне 0, джерело/стік перестане функціонувати.

Метод розв’язання задачі

Перетворимо рівняння (1) у граничне інтегральне рівняння теорії потенціалу. Попередньо зазначимо, що рівняння (1) за структурою не можна класифікувати як будь-яке з класичних рівнянь математичної фізики. Дійсно, до джерельного члену рівняння (1) входить деяка функція, локалізована на дискретному носіїві. Тому задовольнятимемося класичними фундаментальними розв’язками рівняння теплопровідності, у плоскому випадку

$$\varphi_0(t, \tau, x, x_0, y, y_0) = \frac{1}{4\pi a(t - \tau)} \exp\left[-\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{4a(t - \tau)}\right] \quad (5)$$

і у просторовому випадку

$$\varphi_0(t, \tau, x, x_0, y, y_0, z, z_0) = \frac{1}{\left(\sqrt{4\pi a(t-\tau)}\right)^3} \times \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}{4a(t-\tau)}\right]. \quad (6)$$

Тоді (для визначеності використовуємо просторовий випадок) [4 - 5]

$$\begin{aligned} T(t, x_0, y_0, z_0) = & \int_{t_0}^t \iint_{\Gamma} \varphi_0(t, \tau, x, x_0, y, y_0, z, z_0) \frac{\partial T(\tau, x, y, z)}{\partial n(x, y, z)} dS(x, y, z) dT - \\ & - \int_{t_0}^t \iint_{\Gamma} T(\tau, x, y, z) \frac{\partial \varphi_0(t, \tau, x, x_0, y, y_0, z, z_0)}{\partial n(x, y, z)} dS(x, y, z) dT + \\ & + \iiint_D T_0(x, y, z) \varphi_0(t, t_0, x, x_0, y, y_0, z, z_0) dx dy dz + \\ & + \sum_{i=1}^M \alpha_i \int_{t_0}^t q_i(\tau) \varphi_0(t, \tau, x_i, x_0, y_i, y_0, z_i, z_0) dT. \end{aligned} \quad (7)$$

Що ж до методів чисельного розв'язання рівняння (7), то можна без обмежень застосовувати стандартну процедуру методу граничних елементів, описану в монографіях [4 - 5]. Однак наявність джерельного члену, що складається з точкових джерел, вносить зміни у загальну структуру процедури розв'язання. На перший погляд, враховуючи лінійність за температурою T_i співвідношень (3), може здатися, що наведена задача також лінійна в постановці (7). Однак це не так через обмеження в роботі джерела ($0 < Q_i < Q_{i0}$), і через залежність інтенсивності джерела від температури. Справа в тому, що температура T_i в (3) і, відповідно, в (7) – це фіктивна температура, яка обчислюється за правилом: джерело не впливає на поле в точці, де він знаходиться. Температура T_i легко знаходиться за формулою (7), якщо виключити i -е джерело.

Можливі три підходи для коректного врахування джерельних членів у (7). Перший і найбільш очевидний: зменшити крок за часом у покроковому (за часом) процесі розв'язання рівняння (7) до такого значення, щоб у (3) можна було з прийнятною точністю користуватися значенням T_i з попереднього часового шару. Другий спосіб полягає у включенні до списку невідомих температур T_i і до системи рівнянь M додаткових рівнянь для $(x_0, y_0, z_0) = (x_i, y_i, z_i)$. Такий підхід не перевизначає систему, але й “суттєво псує” властивості матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь та, ймовірно, погіршує точність розрахунку. Нарешті, третій передбачає трактування джерельного члена як нелінійного

з організацією ітераційного процесу на кожному кроці за часом. Останній підхід найбільш універсальний, але й найбільш витратний з обчислювальної точки зору.

Аналіз отриманих результатів та висновки

Запропонований вище підхід є математичною моделлю і відповідною їй розрахунковою схемою системи термостабілізації, заснованої на прихованій теплоті фазового переходу. На жаль, отримані результати чисельних розрахунків не вдалося підтвердити ні порівнянням з аналітичними результатами, ні порівнянням з експериментальними дослідженнями, ні з роботами інших авторів, оскільки останні просто не було знайдено. Зі зростанням кількості включень матеріал теплозахисного шару починає бути схожим на гетерогенне середовище, що вселяє надію на можливість порівняння з асимптотичними результатами.

Перспективи подальших досліджень цілком очевидні та пов'язані з оптимізацією систем термостабілізації, заснованих на прихованій теплоті фазових переходів. Виконані розрахунки підтверджують висновок про високу ефективність такого підходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полежаев Ю. В. Тепловая защита / Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юревич. – М.: «Энергия», 1976. – 392 с.
2. Панкратов Б. М. Взаимодействие материалов с газовыми потоками / Б. М. Панкратов, Ю. В. Полежаев, А. К. Рудько. – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.
3. Полежаев Ю. В. Тепловое разрушение материалов / Ю.В. Полежаев, Г. А. Фролов. – К.: Изд-во ИПМ НАНУ, 2005. – 288 с.
4. Бреббия К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
5. Бенерджи П. Метод граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
6. Бразалук Ю. В. Математическое и численное моделирование систем теплоизоляции тел сложной геометрической формы / Ю. В. Бразалук, А. И. Губин, А. В. Давыдова, Д. В. Евдокимов, Ю. А. Малая, М. А. Стояновский // Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпро, 2019. – Випуск 2 (121). – С. 64-76.
7. Бразалук Ю. В. Об одной задаче теории теплоизоляции / Ю.В. Бразалук, А. И. Губин, Д. В. Евдокимов, О. А. Коваленко // Системные технологии. Региональ-

ный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (104). – Днепропетровск, 2016. – С. 45-56.

8. Беляев Н. М. Применение метода граничных элементов в задачах теплопроводности / Н. М. Беляев, Д. В. Евдокимов // Численно-аналитическое исследование процессов тепломассообмена. – Днепропетровск: ДГУ, 1989. – С. 12-18.

REFERENCES

1. Polezhaev Ju. V. Teplovaja zashhita / Ju. V. Polezhaev, F. B. Jurevich. – М.: «Energiya», 1976. – 392 s.

2. Pankratov B. M. Vzaimodejstvie materialov s gazovymi potokami / B. M. Pankratov, Ju. V. Polezhaev, A. K. Rud'ko. – М.: Mashinostroenie, 1975. – 224 s.

3. Polezhaev Ju. V. Teplovoe razrushenie materialov / Ju. V. Polezhaev, G. A. Frolov. – К.: Izd-vo IPM NANU, 2005. – 288 s.

4. Brebbija K. Metody granichnyh jelementov / K. Brebbija, Zh. Telles, L. Vroubel. – М.: Mir, 1987. – 524 s.

5. Benerdzhi P. Metod granichnyh jelementov v prikladnyh naukah / P. Benerdzhi, R. Batterfild. – М.: Mir, 1984. – 494 s.

6. Brazaluk Ju. V. Matematicheskoe i chislennoe modelirovanie sistem teploizoljacji tel slozhnoj geometricheskoj formy / Ju. V. Brazaluk, A. I. Gubin, A. V. Davydova, D. V. Evdokimov, Ju. A. Malaja, M. A. Stojanovskij // Sistemni tehnologii: regional'nyj mizhvuzivs'kij zbirnik naukovih prac'. – Dnipro, 2019. – Vipusk 2 (121). – S. 64-76.

7. Brazaluk Ju. V. Ob odnoj zadache teorii teploizoljacji / Ju. V. Brazaluk, A. I. Gubin, D. V. Evdokimov, O. A. Kovalenko // Sistemnye tehnologii. Regional'nyj mezhvuzovskij sbornik nauchnyh rabot. – Vypusk 3 (104). – Dnepropetrovsk, 2016. – S. 45-56.

8. Beljaev N. M. Primenenie metoda granichnyh jelementov v zadachah teploprovodnosti / N. M. Beljaev, D. V. Evdokimov // Chislenno-analiticheskoe issledovanie processov teplomassoobmena. – Dnepropetrovsk: DGU, 1989. – S. 12-18.

Received 18.02.2022.

Accepted 21.02.2022.

**Mathematical modeling of thermal stabilization systems
based on phase transitions**

At present, first of all, due to success of biotechnologies, tasks have arisen in which it is required to ensure the thermal regime of the protected product within strictly defined and fairly close temperature limits. Most traditional thermal protection, cooling and heating systems have proven to be ill-suited to such tasks. Among the principles of thermal protection used in modern practice, active thermal protection technologies based on the latent heat of phase transitions are considered to be the most effective. It seems to be quite natural to use the same principle in new thermal stabilization systems in a narrow temperature range. To do this, sufficiently small inclusions of a different phase with a phase transition temperature close to one of the limiting temperatures of the required range should be introduced into the heat-shielding layer. As the geometric dimensions of the inclusions of a different phase are significantly smaller than the dimensions of the object as a whole, a multiscale problem is generated with all the difficulties inherent in solving such problems. To overcome the difficulties associated with the multiscale nature of the problem, the thermal effects of inclusions of a different phase were modeled by point heat sources. The thermophysical properties of the heat-shielding coating material were assumed to be constant due to the narrowness of the considered temperature range. Boundary conditions for the heat equation at the outer boundary of the heat-shielding layer were set of the first, second, or third kind. On the inner surface of the heat-shielding layer, conditions were set for conjugation with the temperature field of the protected body. In this case, two limiting models of the protected body were considered: a solid body with some effective thermal conductivity and an integral heat capacity with a temperature constant over the volume. In the first case, the conditions of the fourth kind were set, and in the second, the condition of the first kind. To calculate the temperature field in the system under consideration, the boundary element method was used, which easily takes into account the presence of point heat sources. Thus, a mathematical model and the corresponding calculation scheme of the thermal stabilization system based on the latent heat of the phase transition were constructed in the work. The obtained results of numerical calculations could not be confirmed either by comparison with analytical results, or with experimental studies, or with the works of other authors, since the latter were not found. With an increase in the number of inclusions, the material of the heat-shielding layer begins to resemble a heterogeneous medium, which inspires hope for the possibility of comparison with asymptotic results. Prospects for further research are related to the optimization of thermal stabilization systems based on the latent heat of phase transitions. The illustrative calculations carried out confirm the conclusion about the high efficiency of this approach.

Бразалук Олександр Костянтинович - аспірант кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Бразалук Юлія Володимирівна - доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Губін Олександр Ігорович - доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Brazaluk Alexander Konstantinovich - post-graduate student of aerohydrodynamics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Brazaluk Iuliia Volodymyrivna - associated professor of aerohydrodynamics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Gubin Oleksandr Igorovych - associated professor of aerohydrodynamics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

ЗМІСТ

CONTENTS

Іванчук Я.В., Горобець Ю.В., Коваль К.О. Метод підвищення степеню захисту шифрування повідомлень на основі алгоритму за сталою складовою по часу	3	Ivanchuk Y.V., Horobets Y.V., Koval K.O. Method for increasing the degree of protection of message encryption based on an algorithm for a constant component in time	3
Астахов Д.С., Мазуренко В.Б., Федорович А.І., Лисенко Н.О. Методи виявлення статистичних змін характеристик мережевого трафіку	14	Astakhov D.S., Mazurenko V.B., Fedorovych A.I., Lysenko N.O. Methods for detecting statistical changes in network traffic characteristic	14
Бабаченко О.І., Тогобицька Д.М., Балаханова Т.В., Кононенко Г.А. Комплексний аналіз впливу примісних та легувальних елементів на ударну в'язкість сталей для виготовлення залізничних осей	21	Babachenko O.I., Togobytska D.M., Balakhanova T.V., Kononenko G.A. Complex analysis of the influence of impurity and alloying elements on the toughness of steels for the manufacture of railway axles	21
Байрак І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В. Моделювання зміни вологості ґрунту в процесі роботи дощувальної машини «Фрегат»	31	Bairak I.V., Polyvoda O.V., Rudakova H.V. Modelling of soil moisture change during the operation of the “Frigate” sprinkler	31
Бойко Л.Т., Ляшенко І.С. Порівняння мурашиного алгоритму оптимізації та двох його модифікацій	40	Boiko L., Liashenko I. Comparison of the ant colony optimization algorithm and its two modifications	40
Герасіна О.В., Корнієнко В.І., Гусев О.Ю., Соснін К.В., Мацюк С.М. Виявлення фішингових URL-адрес за допомогою алгоритмів нечіткої кластеризації із глобальною оптимізацією	53	Gerasina O., Korniienko V., Gusev O., Sosnin K., Matsiuk S. Detecting phishing URLs using fuzzy clustering algorithms with global optimization	53

Солдатенко Д.В., Гнатушенко Вік.В. Дослідження ефективності вико- ристання ІТ-інфраструктури як сервісу для хмарних обчислень	68	Soldatenko D., Gnatushenko Vic. Study of efficiency of using it- infrastructure-as-a-service for cloud computing	68
Дмитрієва І.С., Стовпченко І.В. Аналіз комп'ютерної моделі поведінки тонкої пластини зануреної у рідину	77	Dmytriieva I.S., Stovpchenko I. Analysis of a computer model of the behavior of a thin plate immersed in a liquid	77
Іващенко В.П., Швачич Г.Г., Іващенко О.В., Сушко Л.Ф. Високоєфективна багатопроце- сорна система	88	Ivashchenko V.P., Shvachych G.G., Ivashchenko O.V., Sushko L.F. High- performance multiprocessor systems	88
Мінеєв С.П., Новіков Л.А., Самопаленко П.М., Макаренко Р.В. Особливості розрахунку витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт	100	Minieiev S.P., Novikov L.A., Samopalenko P.M., Makarenko R.V. Features of the calculation of air leaks through the mined-out space of coal mines	100
Мороз Д.М. Особливості організації агрегації каналів мережевого інтерфейса в багато процесорних обчислюваль- них системах	111	Moroz D.M. Aggregation arrangement features of network interface channels in multiprocessor computing systems	111
Ростока М.Л. Семантичний аналіз базових по- нять дослідження щодо побудови інформаційно-аналітичної систе- ми підготовки наукових кадрів	122	Rostoka M. Semantic analysis of the basic concepts of research on the construction of an information- analytical system for the training of scientific personnel	122
Сєдачова К.Г., Манько Т.А. Математична модель застосування селективного інфрачервоного нагріву при виготовленні виробів з склопластиків	137	Siedachova K., Manko T. Mathematical model of selective infrared heating application in the manufacture of glass-plastic products	137

Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Задерейко О.В., Логінова Н.І. Класифікація чат-ботів	147	Trofymenko O., Prokop Yu., Zadereyko O., Loginova N. Classification of chatbots	147
Федотова М.О., Скриннік І.О., Березюк І.А., Трушаков Д.В., Зубенко В.О., Сербул О.М. Застосування методики структур- но-параметричної ідентифікації для визначення математичної моделі багатовимірного об'єкта з розподіленими параметрами і запізненням	160	Fedotova M., Skrynnik I., Berezyuk I., Trushakov D., Zubenko V., Serbul O. Application of the method of structural-parametric identification to determine the mathematical model of a multidimensional object with distributed parameters and delay	160
Бразалук О.К., Бразалук Ю.В., Губін О.І. Математичне моделювання сис- тем термостабілізації на основі фазових переходів	170	Brazaluk O.K., Brazaluk Iu.V., Gubin O.I. Mathematical modeling of thermal stabilization systems based on phase transitions	170

РЕФЕРАТИ

УДК 004.056.53

Іванчук Я.В., Горобець Ю.В., Коваль К.О. **Метод підвищення степеню захисту шифрування повідомлень на основі алгоритму за сталою складовою по часу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.3 – 13.

У статті розглянуто ураженість криптосистем типу DSA та ECDSA до атаки на основі аналізу змінної часу підписання повідомлення. Розроблена математична модель для перевірки даного типу ураженості, на основі решіткових атак. Показано, що при наявності достатньої кількості сигнатур з однаковим часом підписання можна ідентифікувати наявність загальних бітів ефемерних ключів, що дозволить відновити приватний ключ відправника. Визначено, що причиною ураженості є відсутність виконання операції обчислення оберненого модуля змінного по часу, що надає дані ефемерного ключа злоумиснику. Для вирішення поставленої задачі запропоновано розширений евклідовий алгоритм обчислення оберненого модуля за сталий час.

Бібл. 12.

УДК 004.942: 519.711.3

Астахов Д.С., Мазуренко В.Б., Федорович А.І., Лисенко Н.О. **Методи виявлення статистичних змін характеристик мережевого трафіку** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.14 – 20.

Досліджено інформативність критерію Шовене для виявлення викидів у вибірках випадкових величин із законом розподілу ймовірності, що відрізняється від нормального. Обчислювальний експеримент показав, що критерій Шовене має високу потужність для вибірок з симетричним, слабо асиметричним і сильно асиметричним законом розподілу ймовірності. Враховуючи цю властивість, даний критерій можна використовувати в системах виявлення вторгнень для підвищення рівня кібербезпеки інформаційних систем.

Бібл. 3.

УДК 669.14.018.294.3: 669.74.001.8

Бабаченко О.І., Тогобицька Д.М., Балаханова Т.В., Кононенко Г.А. **Комплексний аналіз впливу примісних та легувальних елементів на ударну в'язкість сталей для виготовлення залізничних осей** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.21 – 30.

В роботі приведено та узагальнено результати статистичного аналізу промислових даних хімічного складу та механічних властивостей понад 1500 зразків, відібраних від чорнових залізничних осей зі сталі марок ОС та EA1N. Із застосуванням методів прикладної статистики визначена відмінність впливу хімічного складу сталі для залізничних осей на рівень ударної в'язкості, зокрема марганцю та сірки. Показана необхідність застосування більшого ступеню деформації вихідних безперервнолитих заготовок зі сталі марки EA1N та реалізація заходів, які позитивно впливатимуть на зменшення дендритної ліквідації. Підкреслено вагомий вплив технології виготовлення сталі для залізничних осей близького хімічного складу.

Бібл. 12, іл. 2, табл. 2.

УДК 004.942:631.171

Байрак І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В. **Моделювання зміни вологості ґрунту в процесі роботи дощувальної машини «Фрегат»** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.31 – 39.

У даній статті авторами проведено аналіз сучасних методів і засобів зволоження ґрунту, а також існуючих математичних моделей динаміки вологості ґрунту в процесі роботи дощувальної машини «Фрегат». Обґрунтовано необхідність розробки моделі розподілу вологи у прикореневому і приповерхневому шарах ґрунту. Розроблено математичну модель динаміки вологості ґрунту в просторі станів, яка враховує об'єми води, що споживаються рослинами і подаються на поля дощувальними машинами, а також поступають природним чином у вигляді випадкових опадів і ґрунтових вод.

Бібл. 10, іл. 2.

УДК 519.854

Бойко Л.Т., Ляшенко І.С. **Порівняння мурашиного алгоритму оптимізації та двох його модифікацій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.40 – 52.

Порівнюються результати наближеного розв'язування задачі комівояжера, добути трьома варіантами мурашиного алгоритму. Наведені системні особливості поведінки мурах-фуражирів та алгоритм використання цих особливостей в ітераційній схемі розв'язування задачі комівояжера. Описані можливості розробленої мовою C# програми для проведення комп'ютерних експериментів. На трьох прикладах проведено порівняльний аналіз трьох варіантів мурашиного алгоритму. Відмічені їх позитивні та негативні особливості.

Бібл. 3, іл. 12, табл. 1.

УДК 004.056: 004.94

Герасіна О.В., Корнієнко В.І., Гусев О.Ю., Соснін К.В., Мацюк С.М. **Виявлення фішингових URL-адрес за допомогою алгоритмів нечіткої кластеризації із глобальною оптимізацією** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.53 – 67.

Запропоновано алгоритм виявлення фішингових URL-адрес (класифікатор) із використанням нечіткої кластеризації, який включає вибір типу інтелектуального класифікатора та обґрунтування його параметрів за допомогою методів глобальної оптимізації. Шляхом моделювання оцінено ефективність використання запропонованого алгоритму на прикладі експериментальних даних – набору фішингових і безпечних URL-адрес.

Бібл. 13, іл. 2, табл. 1.

УДК 004.75

Солдатенко Д.В., Гнатушенко Вік.В. **Дослідження ефективності використання IT-інфраструктури як сервісу для хмарних обчислень** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.68 – 76.

У роботі проведено дослідження існуючих рішень та засобів, а також надані переваги та недоліки використання того чи іншого рішення для різноманітних потреб та виділено найуніверсальніше рішення, яке підходить під більшість запитів. У ході дослідження наведено найбільш популярні на даний момент рішення, пов'язані з хмарними обчисленнями та аналіз їх ключових особливостей. Найбільш потужним та привабливим сервісом для обробки великого обсягу вхідних даних, у тому числі космічних знімків, є IaaS. При його використанні забезпечується висока швидкість та доступність ресурсів, адаптація до поставленого завдання, безпека даних за рахунок розподіленого зберігання та обробки, що дозволяє збільшити продуктивність та мінімізувати затримку для кінцевого користувача.

Бібл. 7, іл. 1.

УДК 004.94

Дмитрієва І.С., Стовпченко І.В. **Аналіз комп'ютерної моделі поведінки тонкої пластики зануреної у рідину** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.77 – 87.

Моделювання коливання сталеві пластины у воді під дією навантажень задля оцінки безпеки конструкції є актуальним завданням сучасності у проектуванні споруд. Метою даної роботи було дослідження поведінки пластини, зануреної в рідину, що здійснює вимушені коливання під дією прикладеного навантаження; механізм поведінки даної взаємодії та визначення приєднаних мас рідини. Знання приєднаних мас допомагає оцінити вплив рідини.

В роботі було досліджено коливання сталеві пластины у воді під дією двох видів навантажень. Для гармонійного аналізу коливань пластины було побудовано власні АЧХ, які порівнювали з АЧХ, отриманої шляхом вирішення серії задач FSI. З порівняння отриманих АЧХ зроблено висновок про можливість використання гармонійного аналізу для дослідження напружено-деформованого стану пластины при її коливаннях.

Метод гармонічного аналізу із додаванням приєднаної маси води можна використовувати на низьких частотах коливань до резонансу. На всіх інших власних частотах коливань використовувати метод гармонічного аналізу з урахуванням приєднаної маси води не рекомендується.

Бібл. 4, рис.6.

УДК 004.032.24

Іващенко В.П., Швачич Г.Г., Іващенко О.В., Сушко Л.Ф. **Високоєфективна багатопроекторна система** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.88 – 99.

Робота присвячена проблемі моделювання архітектури високопродуктивних багатопроекторних систем обробки даних, які використовуються при розв'язуванні задач з розширюваною областю пам'яті. Запропонована система характеризується підвищеною надійністю і високою енергоефективністю. Система містить окрему реконфігуровану мережу для обміну даних між обчислювальними вузлами, керовані комутатори, а також передбачає мережеве навантаження вузлів, механізм резервування ключових компонентів.

Бібл. 14, іл. 1.

УДК 622.454:622.016.62

Мінеєв С.П., Новіков Л.А., Самопаленко П.М., Макаренко Р.В. **Особливості розрахунку витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.100 – 110.

У статті наведено результати розрахунку результуючих швидкостей витоків повітря та траєкторій ліній току у виробленому просторі при прямоточній та зворотноточної схемах провітрювання. При розрахунках використовувалися лінійний та двочленний закони фільтрації газу з урахуванням пористості та питомого аеродинамічного опору виробленого простору. Отримані результати дозволяють знизити загазованість виробок за рахунок вибору раціональних схем та режимів провітрювання

Бібл. 10, іл. 4.

УДК 004.032.24

Мороз Д.М. **Особливості організації агрегації каналів мережевого інтерфейса в багатопроекторних обчислювальних системах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.111 – 121.

Визначаються шляхи підвищення ефективності багатопроекторної обчислювальної системи за рахунок реорганізації архітектури її мережевого інтерфейсу. Показано, що ефективність паралелізації обчислень істотно залежить від багатьох чинників, найважливіший з яких – особливості пересилання даних між граничними вузлами багатопроекторної системи, що являє собою найповільнішу частину алгоритму виконуваних обчислень і може суттєво знизити ефект від збільшення кількості задіяних процесорів. Запропоновано режим агрегації каналів мережевого інтерфейса в багатопроекторних обчислювальних системах. Відзначено, що основна перевага режиму агрегації каналів полягає в тому, що істотно підвищується швидкість обміну даними, а також зростають показники надійності функціонування кластерної системи.

Бібл. 14.

УДК 004.42:378.2

Ростока М.Л. **Семантичний аналіз базових понять дослідження щодо побудови інформаційно-аналітичної системи підготовки наукових кадрів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.122 – 136.

Актуальність статті підтверджується шляхом аналітичного вивчення наукових досягнень попередників, заснованих на практичних аспектах побудови інформаційно-аналітичних систем та визначається трансдисциплінарністю наукового знання, а також доцільністю проведення структурно-логічного чи семантичного аналізу відповідної термінології, яка забезпечує системність та раціональність будь-якого наукового. Таким чином, результати вивчення сутності та змісту базових понять за первинними результатами докторського дослідження визначають вектор подальших дослідницьких пошуків. Тому основною метою статті є представлення результатів поточних пошуків щодо вивчення категоріально-понятійного апарату, що зумовлює базову дефінітивну підтримку докторського дослідження методології побудови

інформаційно-аналітичної системи підготовки наукових кадрів. У цьому контексті використовувалися методи контент-аналізу, семантичного та порівняльного аналізу, онтологічного моделювання та ін. Висновки та перспективи дослідження охоплюють коло питань, що дозволяють розуміти сутність базових дефініцій, що перебувають у термінополі «інформаційно-аналітична система».

Бібл. 27.

УДК 678.02:621.365

Сєдачова К.Г., Манько Т.А. **Математична модель застосування селективного інфрачервоного нагріву при виготовленні виробів з склопластиків** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.137 – 146.

Сьогодні інформаційні ресурси пропонують до розгляду різноманітну інформацію що до вибору раціональних методів тверднення композитних конструкцій та проектування обладнання для проведення процесів.

Через складність та довготривалість проведення процесу полімеризації конструкцій виникла необхідність створення математичної моделі для прогнозування результатів полімеризації за різної температури та часу при використанні ІЧ випромінювання, в тому числі селективного.

Проведено порівняльний аналіз різних формулювань математичних моделей на основі рівняння Нав'є-Стокса.

Механізм, що пояснює кінетику швидкості реакції v_1 , запропонований Арреніусом.

Проаналізувавши класичні рівняння запропоновано математичну модель, яка описує процес отвердіння композиту при спільній дії теплового потоку та інфрачервоного випромінювання. Запропоновано спосіб визначення параметрів математичної моделі за результатами експериментальних досліджень.

Бібл. 7.

УДК 004.773.6

Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Задерейко О.В., Логінова Н.І. **Класифікація чат-ботів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.147 – 159.

Сформовано детальну багатофакторну класифікацію чат-ботів для чіткого розуміння сутності, підходів до створення, переваг і недоліків чат-ботів за тією чи іншою ознакою. Дослідження та аналіз ознак сучасних чат-ботів дозволили розділити програми чат-ботів за сімома критеріями: призначення; місце розташування; вид інтерфейсу; кількість користувачів; форма доступу; алгоритм; функціонал. Кожна з цих категорій має поділ на групи та підгрупи за різними ознаками. Наведено можливі приклади чат-ботів відповідних категорій.

Бібл. 12, іл. 1.

УДК 631.365.22+621.317

Федотова М.О., Скриннік І.О., Березюк І.А., Трушаков Д.В., Зубенко В.О., Сербул О.М. **Застосування методики структурно-параметричної ідентифікації для визначення математичної моделі багатовимірного об'єкта з розподіленими параметрами і запізненням** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.160 – 169.

Робота присвячена наступному етапу визначення опису динаміки зерносушарки з киплячим шаром як багатовимірного об'єкта з розподіленими параметрами із запізненням. Завдяки застосуванню методики структурно-параметричної ідентифікації отримано багатовимірну матрицю передаточних функцій зерносушарки та збурень, що діють на неї в реальних експлуатаційних умовах, що стане основою для синтезу системи автоматичного регулювання сушаркою.

Бібл.6, іл.5.

УДК 536.24

Бразалук О.К., Бразалук Ю.В., Губін О.І. **Математичне моделювання систем термостабілізації на основі фазових переходів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(139). – Дніпро, 2022. – С.170 – 178.

Розглядаються системи термостабілізації, основані на використанні прихованої теплоти фазового переходу, для чого в теплозахисний шар внесені включення іншої фази зі спеціально підбраною температурою фазового переходу. Для розрахунку поля температур використовувався метод граничних елементів, а включення іншої фази моделювалися точковими джерелами тепла. Ефективність запропонованого підходу підтверджена результатами чисельних розрахунків.

Бібл. 8.

UDK 004.056.53

Ivanchuk Y.V., Horobets Y.V., Koval K.O. **Method for increasing the degree of protection of message encryption based on an algorithm for a constant component in time** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.3 – 13.

Currently, asymmetric cryptosystems are used everywhere, in document management for cryptocurrencies, providing a high level of protection to end users, relying on the mathematical complexity of calculating a discrete algorithm. But, it is possible to make a cryptocurrency attack on the so-called ephemeral key, which is an auxiliary key when creating a signature. Recent works have shown examples of cryptocurrencies on the random number generator, processor cache, timing attacks. However, these attacks do not work when the numerical value of the bits is unknown. Also, recent work shows the main vulnerability in the case signature, namely the inverse module calculation algorithm that is vulnerable to timing attacks. The article considers the damage of cryptosystems such as DSA and ECDSA before the attack based on the analysis of the variable time of signing the message. A mathematical model has been developed to test this type of lesion, based on lattice attacks. It is shown that if there are enough signatures with the same signing time, it is possible to identify the presence of common bits of ephemeral keys, which will restore the sender's private key. It is proved that the cause of the lesion is the lack of execution of the operation of calculating the inverse module of the time variable, which provides ephemeral key data to the attacker. To solve this problem, an extended Euclidean algorithm for calculating the inverse module for a fixed time is proposed. In this paper, the advanced Euclidean algorithm for calculating the inverse module is improved, namely, its constant time execution is achieved, which prevents timed attacks.

Bibl. 12.

UDK 004.942: 519.711.3

Astakhov D.S., Mazurenko V.B., Fedorovych A.I., Lysenko N.O. **Methods for detecting statistical changes in network traffic characteristics** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.14 – 20.

The informativeness of the Chauvenet criterion for detecting outliers in samples of random variables with a probability distribution law different from the normal one is investigated. Computational experiment has shown that the Chauvenet criterion has high power for samples with symmetric, weakly asymmetric and strongly asymmetric probability distribution law. Given this property, this criterion can be used in intrusion detection systems to increase the level of cybersecurity of information systems.

Bibl. 3.

UDK 669.14.018.294.3: 669.74.001.8

Babachenko O.I., Togobytska D.M., Balakhanova T.V., Kononenko G.A. **Complex analysis of the influence of impurity and alloying elements on the toughness of steels for the manufacture of railway axles** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.21 – 30.

The paper presents and summarizes the results of statistical analysis of industrial data on the chemical composition and mechanical properties of more than 1,500 samples taken

from rough railway axles made of steel grades OS and EA1N. The difference in the influence of the chemical composition of steel for railway axles on the level of impact strength, in particular manganese and sulfur, was determined using the methods of applied statistics. The necessity of applying a greater degree of deformation of the original continuously cast steel billets of EA1N grade and the implementation of measures that will have a positive effect on the reduction of dendritic segregation is shown. The significant influence of steel production technology for railway axles of close chemical composition is emphasized.

Bibl. 12, fig. 2, table. 2.

UDC 004.942:631.171

Bairak I.V., Polyvoda O.V., Rudakova H.V. **Modelling of soil moisture change during the operation of the "Frigate" sprinkler** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.31 – 39.

In this article, the authors analyze the modern methods and means of soil moistening, as well as existing mathematical models of soil moisture dynamics during the operation of the "Frigate" sprinkler. The necessity of developing a model of moisture distribution in the root and near-surface layers of the soil is substantiated. A mathematical model of soil moisture dynamics in the space of states has been developed, which takes into account the volumes of water consumed by plants and fed to the fields by sprinklers, and also comes naturally in the form of random precipitation and groundwater.

Bibl. 10, ill. 2.

UDC 519.854

Boiko L., Liashenko I. **Comparison of the ant colony optimization algorithm and its two modifications** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.40 – 52.

The results of the approximate solution of the travelling salesman problem obtained by three variants of the ant algorithm are compared. The system features of forage ants' behavior and the algorithm of using these features in the iterative scheme of solving the travelling salesman problem are given. The possibilities of the C# program developed for computer experiments are described. A comparative analysis of three variants of the ant algorithm was performed on three examples. Their positive and negative features are noted.

Bible 3, ill. 12, tab. 1.

UDK 004.056: 004.94

Gerasina O., Korniienko V., Gusev O., Sosnin K., Matsiuk S. **Detecting fishing URLs using fuzzy clustering algorithms with global optimization** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.53 – 67.

An algorithm for detecting phishing URLs (classifier) using fuzzy clustering is proposed, which includes choosing the type of intelligent classifier and justifying its parameters using global optimization methods. The following were studied as intellectual classifiers: subtractive clustering and fuzzy clustering of C-means. To find (adjust) the optimal (for a specific task) parameters of intelligent classifiers, the use of global optimization methods is justified, including genetic algorithm, direct random search, annealing simulation method, multicriteria optimization and threshold acceptance method. As a criterion of global

optimization, a combined criterion was used, which includes the definition of the regularity criterion calculated on the test sample and the bias (minimum shift) criterion based on the analysis of solutions. By modeling in the Matlab environment with the help of standard and developed programs, the evaluated efficiency of using the proposed algorithm is evaluated on the example of experimental data – a set of 150 phishing and 150 secure URLs. The set of experimental data included information about the domain name registrar, the lifetime of the domain, the geolocation of the hosting server, the presence of a secure connection with a valid certificate. By simulation it is established that the fuzzy classifier with the subtractive clustering algorithm and using the Sugeno structure and 6 clusters meets the minimum of the combined criterion. All phishing URLs that were mistakenly classified as secure were found to have a secure connection with a valid certificate. Thus, further research should be aimed at exploring additional informative attributes (features) that could allow better separation of phishing and secure URLs.

Bibl. 13, ill. 2, tabl. 1.

UDC 004.75

Soldatenko D., Gnatushenko Vic. **Study of efficiency of using it-infrastructure-as-a-service for cloud computing** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.68 – 76.

This article explores existing solutions and services and provides the advantages and disadvantages of using one or another solution for various needs and highlighted the most universal solution suitable for most requests. In the study, the most popular solutions related to cloud computing present and analyze their key features. The most powerful and attractive service for processing a large amount of input data, including space images, is IaaS. When used, it provides high speed and availability of resources, adaptation to the task, data security due to distributed storage and processing, which allows increasing performance and minimizing latency for the end user.

Bible 7.

UDC 004.94

Dmytriieva I.S., Stovpchenko I. **Analysis of a computer model of the behavior of a thin plate immersed in a liquid** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.77 – 87.

Modeling the oscillation of a steel plate in water under the action of loads to assess the safety of the structure is an urgent task of modern times in the design of structures. The aim of this work was to study the behavior of a plate immersed in a fluid that makes forced oscillations under the action of an applied load; the mechanism of behavior of this interaction and the determination of the connected masses of the fluid. Knowledge of the connected masses helps to assess the effect of the liquid.

In this work, the oscillations of a steel plate in water under the action of two types of loads were studied. For the harmonic analysis of the oscillations of the plate, our own frequency response was constructed, which was compared with the frequency response acquired by the method of solving a series of FSI problems. From the comparison of the

obtained frequency response it is concluded that it is possible to use harmonic analysis to study the stress-strain state of the plate during its oscillations.

The method of harmonic analysis with the addition of the attached mass of water can be used at low oscillation frequencies. At all other oscillation frequencies it is not recommended to use the method of harmonic analysis taking into account the connected mass of water.

Bibl. 4, pic. 6.

UDK 004.032.24

Ivashchenko V.P., Shvachych G.G., Ivashchenko O.V., Sushko L.F. **High- performance multiprocessor systems** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.88 – 99.

The paper is devoted to the modeling of high-performance multiprocessor architecture for data processing systems used to solve problems with an expandable calculations' area. The proposed system is characterized by high reliability and high energy efficiency. The system contains a separate reconfigurable network for the exchange of data between computing nodes, managed switches. The system also provides network booting nodes and redundancy mechanism of key components.

Bibl. 14, ill. 1.

UDK 622.454:622.016.62

Minieiev S.P., Novikov L.A., Samopalenko P.M., Makarenko R.V. **Features of the calculation of air leaks through the mined-out space of coal mines** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.100 – 110.

The article discusses the patterns of movement of air leaks through the mined-out space of coal mines. The results of calculation of the resulting velocities of air leaks in the longwall and the trajectories of streamlines in the mined-out space are given for direct-flow and return-flow ventilation schemes of the excavation area. When carrying out calculations, linear and two-term laws of gas filtration were used, taking into account changes in porosity and specific aerodynamic resistance of the goaf. It has been established that the influence of inertia forces leads to a decrease in the resulting air leakage rates. The results obtained make it possible to select rational schemes and modes of ventilation to reduce the gas contamination of workings.

Bibl. 10.

UDK 004.032.24

Moroz D.M. **Aggregation arrangement features of network interface channels in multiprocessor computing systems** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.111 – 121.

The paper identifies ways to increase the multiprocessor computing system performance by reorganizing the architecture of its network interface. It is shown that the computational parallelization performance significantly depends on many factors, the most essential of which is the data transfer between the boundary nodes of a multiprocessor system, which is the algorithm slowest part and can significantly reduce the effect of increasing the number of processors. The mode of aggregation of network interface channels in multiprocessor computing systems is proposed. It is noted that the main advantage of the channel

aggregation mode is that the speed of data interchange is significantly increased, along with the cluster system reliability.

Bibl. 14.

UDC 004.42:378.2

Rostoka M. **Semantic analysis of the basic concepts of research on the construction of an information-analytical system for the training of scientific personnel** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.122 – 136.

The relevance of the article is confirmed by an analytical study of the scientific achievements of the predecessors, based on the practical aspects of building information and analytical systems, and is determined by the transdisciplinarity of scientific knowledge, as well as the feasibility of conducting a structural-logical or semantic analysis of the relevant terminology, which ensures the consistency and rationality of any scientific research. Thus, the results of studying the essence and content of basic concepts based on the primary results of doctoral research determine the vector of further research searches. Therefore, the main purpose of the article is to present the results of current searches for the study of the categorical-conceptual apparatus, which determines the basic definitive support for doctoral research on the methodology for building an information-analytical system for training scientific personnel. In this context, the methods of content analysis, semantic and comparative analysis, ontological modeling, etc. were used. The conclusions and prospects of the study cover a range of issues that make it possible to understand the essence of the basic definitions that are in the term field "information-analytical system".

Bibl. 27.

UDC 678.02:621.365

Siedachova K., Manko T. **Mathematical model of selective infrared heating application in the manufacture of glass-plastic products** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.137 – 146.

Today's information resources offer a variety of rational composite structures hardening methods and equipment design for these processes.

Due to the complexity and long duration of the structures polymerization process, there is a need to create a mathematical model for polymerization results predicting, using different temperatures and infrared radiation (including selective) time.

Performed the comparative analysis of different mathematical models based on the Navier-Stokes equation.

A mechanism explaining the kinetics of the reaction rate v_1 was proposed by Arrhenius.

After analyzing the classical equations, a mathematical model was proposed, which describes the process of hardening the composite material under the combined action of heat flux and infrared radiation. A method for determining the parameters of a mathematical model based on the results of experimental research is proposed.

Bibl. 7.

UDC 004.773.6

Trofymenko O., Prokop Yu., Zadereyko O., Loginova N. **Classification of chatbots** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.147 – 159.

A detailed multifactorial classification of chatbots has been formed for a clear understanding of the essence, approaches to creation, advantages, and disadvantages of chatbots on one or another basis. The study and analysis of the features of modern chatbots made it possible to divide chatbot programs into seven criteria: purpose; location; interface type; the number of users; access form; algorithm; functional. Each of these categories has a division into groups and subgroups according to different criteria. Possible examples of chatbots of the corresponding categories are presented.

Bibl. 12, ill. 1.

UDC 631.365.22 + 621.317

Fedotova M., Skrynnik I., Berezyuk I., Trushakov D., Zubenko V., Serbul O. **Application of the method of structural-parametric identification to determine the mathematical model of a multidimensional object with distributed parameters and delay** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.160 – 169.

The work is devoted to the next stage of defining the description of the dynamics of a fluidized bed grain dryer as a multidimensional object with distributed parameters with a delay. Due to the application of the method of structural-parametric identification, a multidimensional matrix of transfer functions of the grain dryer and perturbations acting on it in real operating conditions is obtained, which will be the basis for the synthesis of the automatic dryer control system.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 536.24

Brazaluk O.K., Brazaluk Iu.V., Gubin O.I. **Mathematical modeling of thermal stabilization systems based on phase transitions** // System technologies. N 2(139) - Dnipro, 2022.- P.170 – 178.

Thermal stabilization systems based on the use of the latent heat of phase transition are considered, for which inclusions of another phase with a specially selected phase transition temperature are introduced into the heat-shielding layer. The boundary element method was used to calculate the temperature field, and inclusions of another phase were modeled by point heat sources. The effectiveness of the proposed approach is confirmed by the results of numerical calculations.

Bibl. 8.

Системні технології
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 2 (139)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 21.02.2022. Підписано до друку 30.03.2022.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 13,786. Обл.-видавн. арк. – 12,063.

Тираж 300 прим. Замовл. – 02/22

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(*головний редактор*)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(*заст. головного редактора*)

професор, доктор технічних наук

Гнатюшенко Вікторія Володимирівна

(*вчений секретар*)

професор, доктор технічних наук

Гнатюшенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташці, Польща

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна