

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

4 (141) 2022

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

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

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (141). - Дніпро, 2022. – 205с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)
Архипов О.Є. - д.т.н., проф.
Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.
Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.
Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гуда А.І. - д.т.н., проф.
Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.
Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гожий О.П. - д.т.н., проф.
Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.
Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.
Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

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

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

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

СКЛАДОВІ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТУ АНАЛІЗУ СПЕКТРІВ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

Анотація. Процедура оцінки невизначеності результату є основною при розробці нових алгоритмів обробки інформації, приладів визначення і опрацювання даних. Метою статті є оцінювання складових невизначеності результату, що виникають при аналізі спектрів вільних коливань: невизначеність від розтікання спектру, невизначеність по амплітуді і частоті аналізованих спектрів. Досліджено вплив застосування віконної функції на результати спектрального аналізу сигналів складної форми. Проаналізовано зміни складової невизначеності результату при застосуванні гаусівського вікна під час аналізу досліджуваних спектрів вільних коливань. Проведено оцінку впливу невизначеності на результат спектрального аналізу по амплітуді і по частоті дискретизації спектрів. Окреслено умови зменшення цих складових невизначеності.

Ключові слова: спектральний аналіз, невизначеність, віконна функція, накладання спектрів, час дискретизації.

Постановка проблеми. В сучасному світі системи і засоби вимірювання, аналізу та відтворення сигналів застосовуються практично в усіх сферах науки і техніки. Основним у використанні таких приладів є отриманий результат та його точність. Точність результату вимірювань залежить від багатьох факторів: вплив навколишнього середовища (температури, вологості і т.д.), необхідність втручання оператора, внутрішні завади досліджуваного об'єкту та багато іншого. При визначенні і відображенні результату вимірювання необхідно враховувати всі ці чинники, тому постає завдання в отриманні коректного результату з високою точністю. На сьогоднішньому етапі розвитку науки для вираження коректного результату застосовують не похибку (або точність) вимірювання, а відображення результату вимірювання з певною невизначеністю. Більшість систем і засобів вимірювання є багатофункціональними: вимірюють одразу декілька значень, виконують декілька операцій, в

ідображають зміну декількох параметрів і т.д. Процедура оцінювання і вираження невизначеності результату вимірювання була введена лише у 1993

році [1] і ще не до кінця досліджена, а тому не пристосована до усіх алгоритмів, приладів і систем метрологічного забезпечення в Україні. При розробці нових алгоритмів і приладів постає проблема аналізу і розробки процедури оцінювання невизначеності результату вимірювання під час вирішення поставленої задачі.

Аналіз літератури. Раніше при вирішенні метрологічних задач вимірювання, дослідження, обробки, передачі інформації та інших обов'язковою операцією була операція аналізу похибок вимірювання. На сьогоднішній день її заміняє пошук та вираження невизначеності результату вимірювання. Про що свідчить документ Спільного комітету керівництва з метрології від 2009 року (JCGM 104:2009 – [2]): в ньому вказано, що метою вимірювання є надання інформації про величину, яка цікавить – вимірювану величину. З міжнародного словника з метрології (International Vocabulary of Metrology – VIM 3rd edition, [3]): термін «невизначеність вимірювання» – це невід'ємний параметр, який характеризує на основі обґрунтованої інформації розподіл величин, що відносяться до вимірюваної величини. З посібника для вираження невизначеності вимірювань (GUM 1995 with minor corrections – [4]): «невизначеність (у вимірюваннях)» – параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, що характеризує розсіювання значень, які обґрунтовано можна пов'язати з вимірюваною величиною. Для вираження невизначеності результату вимірювання проводиться знаходження і розрахунок відхилення знайденої величини від ймовірного ідеального значення шуканої величини. Невизначеність вимірювання поділяється на невизначеність типу А – складові, оцінені статистичними способами і невизначеність типу В – складові, оцінені методами відмінними від статистичних. У підручнику з основ теорії невизначеності вимірювань [5]: компоненти категорії А характеризуються оціненими дисперсіями (або оціненими «стандартними відхиленнями») і числом степенів вільності, компоненти категорії В повинні характеризуватися величинами, які можна розглядати як наближення до відповідних дисперсій, існування яких допускається.

Метою статті є оцінювання складових невизначеності результату спектрального аналізу.

Викладення основного матеріалу. В більшості випадків при вирішенні задачі спектрального аналізу невизначеність вимірювання зводиться до розрахунку наступних складових: частотна невизначеність і невизначеність амплітудного значення [6], [7], [8]. Також необхідно враховувати складову невизначеності фази. Для даної статті використано алгоритм дослідження, застосова-

ний у [9], а саме визначення інформативних параметрів сигналу за допомогою спектрального аналізу (використання перетворення Фур'є) та застосування віконної гаусівської функції. Отже, першим етапом є отримання спектру досліджуваного сигналу за формулою:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

другий етап: введення віконної функції, тоді отримуємо наступну формулу:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot g(t, a) \cdot e^{-j\omega t} dt, \quad (2)$$

де: $g(t, a) = e^{-\frac{(t-b)^2}{4a^2}}$ – віконна функція Гауса, в якій a – ширина вікна, а b – зсув вікна по часовій осі. Підставивши віконну функцію в (2) отримуємо:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-\frac{(t-b)^2}{4a^2}} \cdot e^{-j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-\frac{(t-b)^2}{4a^2} - j\omega t} dt. \quad (3)$$

Для спрощення розрахунків перейдемо до дискретної форми подання перетворення Фур'є:

$$X_d(j\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n\Delta t) \cdot e^{-\frac{(n\Delta t - b)^2}{4a^2} - j\omega n\Delta t}, \quad (4)$$

де n – кількість відліків дискретизації, а Δt – крок дискретизації. Застосуємо формулу Ейлера до рівняння (4):

$$X_d(j\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n\Delta t) \cdot \left[\begin{array}{l} \cos\left(-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - \omega n\Delta t\right) - \\ -j \cdot \sin\left(-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - \omega n\Delta t\right) \end{array} \right] \quad (5)$$

нехай функція $X_d(j\omega)$ – парна, тоді рівняння (5) можна звести до косинусної форми ряду Фур'є:

$$X_d(j\omega) = x_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cdot \cos\left(-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - \omega n\Delta t\right), \quad (6)$$

де $x_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(n\Delta t) d\Delta t$ – постійна складова, що являє собою середнє значення

функції за період, а X_n – амплітудне значення n -го відліку вхідного дискретизованого сигналу. Для подальшого знаходження складових невизначеності спектрального аналізу за досліджувану функцію будемо приймати вираз (6).

Одними з основних складових невизначеності спектрального аналізу є невизначеності, що виникають від ефекту «розтікання спектра». Розтікання спектра відбувається якщо при визначенні спектра корисного сигналу використовується дискретне перетворення Фур'є з нецілим числом періодів. В такому випадку з'являються стрибки на границях періодів послідовності, як наслідок у шуканому спектрі виникають додаткові паразитні значення, які не відносяться ні до корисного сигналу, ні до шумів, які він містить. На практиці при отриманні спектра гармонійного періодичного сигналу причиною розтікання спектра є застосування вибірки перетворення Фур'є, розмір якої не кратний періоду досліджуваного сигналу. Для більш точного дослідження сигналу при спектральному аналізі збільшують кількість відліків для побудови спектра. Ті відліки, значення яких не є цілим числом призводять до стрибків сигналу, які відображаються на спектрі у вигляді паразитних гармонік. Для згладжування цих стрибків і застосовують віконні функції, які мають максимальне значення у центрі і плавно спадають до країв послідовності. Отже, розтікання спектру призводить до виникнення наступних складових невизначеності при спектральному аналізі:

- накладання спектрів, через це неможливо визначити до якої з основних гармонік відноситься енергія, що лежить в межах інтервалу накладання;
- розширення основних пелюсток спектру, через що відбувається зменшення енергії основної гармоніки;
- виникнення додаткових гармонік в спектрі сигналу за рахунок некротних частоти досліджуваного сигналу і частоти вибірки при перетворенні Фур'є.

Для прикладу в середовищі MathCad досліджено косинусний затухаючий сигнал виду:

$$y_i := \left(1 \cdot \cos(1.571 \cdot x_i) \cdot e^{-0.002 \cdot x_i} + 0.5 \cdot \cos(2 \cdot 1.571 \cdot x_i) \cdot e^{-0.005 \cdot x_i} + 0.2 \cdot \cos(3 \cdot 1.571 \cdot x_i) \cdot e^{-0.005 \cdot x_i} \right),$$

де x_i – добуток номера відліку на відношення довжини сигналу до довжини вибірки перетворення, $i = 0..N - 1$. На рисунку 1 зображено спектр досліджуваного сигналу – червоного кольору (F_i – величина амплітуди по лівій осі ординат) і спектр цього ж сигналу помноженого на віконну функцію Гауса – синього кольору (G_i – величина амплітуди по правій осі ординат).

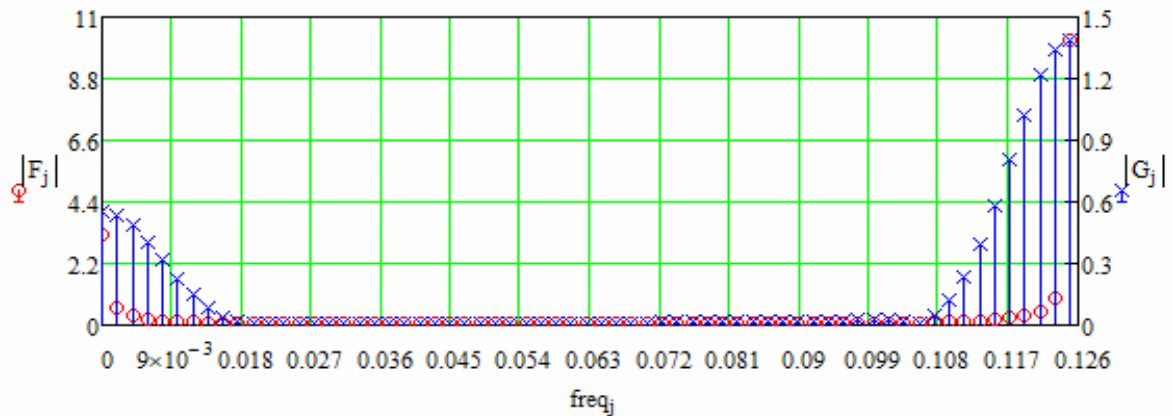


Рисунок 1 – Спектри досліджуваного сигналу (F_j) і його добутку на віконну функцію Гауса (G_j)

Як бачимо, основна енергія сигналу зосереджена на частотах рівних $f_{j1} = 0$ ум.од. і $f_{j2} = 0,125$ ум.од.. Основна відмінність полягає у величині амплітуд основних гармонік: при перетворенні Фур'є повного сигналу величина основних гармонік: $A_{осн.1} = 3,27$ і $A_{осн.2} = 10,25$, коли при перетворенні Фур'є сигналу, обмеженого віконною функцією величина основних гармонік становить $A_{осн.1} = 0,56$ і $A_{осн.2} = 1,4$. Також з даного рисунку можемо побачити розширення основних пелюсток у спектрі сигналу, обмеженого вікном, які повторюють форму віконної функції Гауса. Слід зазначити, що при зменшенні ширини вікна зменшується амплітуда основних гармонік і збільшується амплітуда бокових гармонік, що призводить до вирівнювання спектру по всій частотній осі і неможливості визначити на якій саме частоті зосереджена основна енергія сигналу. Отже, в даному випадку застосування вагового вікна призводить до зменшення інформативності процедури спектрального аналізу.

Для дослідження невизначеностей проведено також аналіз реального сигналу виду:

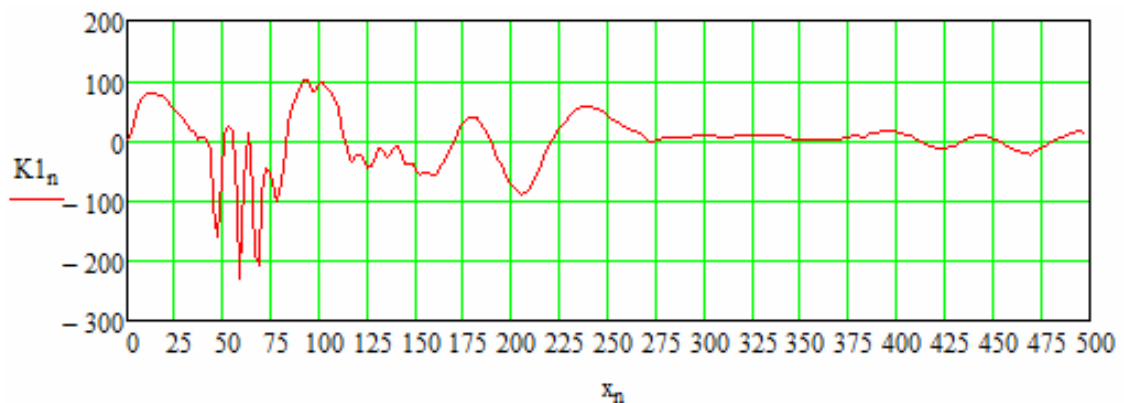


Рисунок 2 – Досліджуваний сигнал

На рисунку 3 відображено графіки спектра досліджуваного сигналу (S_j – синього кольору) і спектра досліджуваного сигналу, обмеженого віконною функцією Гауса (F_j – червоного кольору).

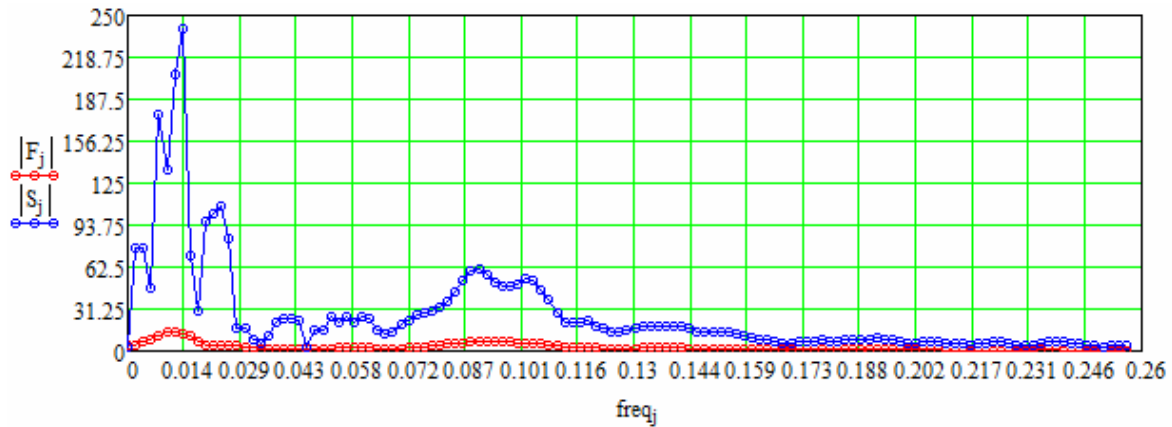


Рисунок 3 – Спектри досліджуваного реального сигналу (S_j) і його добутку на віконну функцію Гауса (F_j)

Віконна функція Гауса обмежувала сигнал на проміжку $[0; 125]$. В даному випадку також спостерігаємо зменшення амплітуди основних гармонік спектра сигналу, обмеженого вікном і розмивання цього ж спектра по всій частотній осі. Це може свідчити про неефективність застосування віконних функцій при спектральному аналізі сигналів. З іншого боку, при збільшенні масштабу спектра обмеженого сигналу отримаємо графік, зображений на рисунку 4.

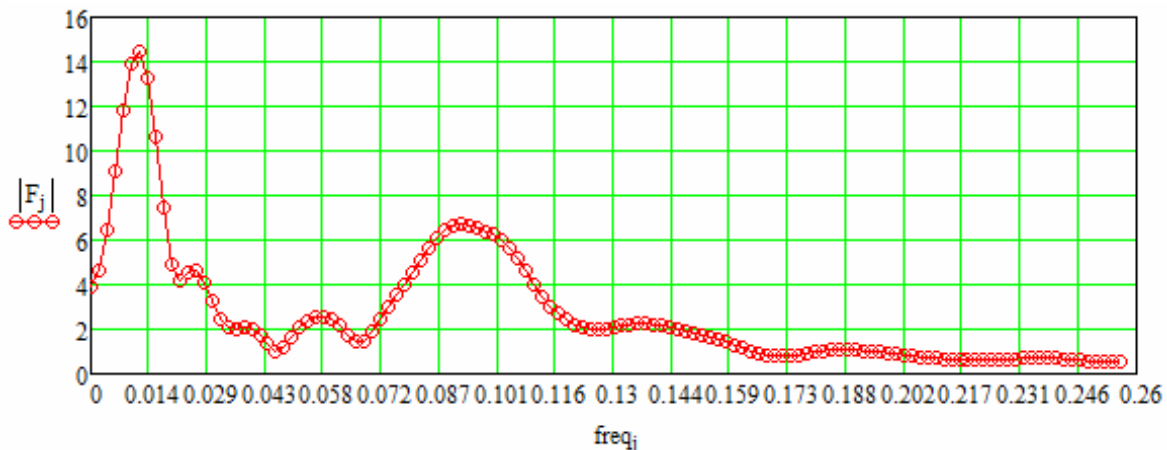


Рисунок 4 – Спектр обмеженого реального сигналу у збільшеному масштабі

Спектр реального сигналу містить 5 пікових значень з амплітудами від $A_{\min 1} = 61$ до $A_{\max 1} = 241$, в той час як спектр обмеженого сигналу має всього два піки: $A_{\min 2} = 7$ і $A_{\max 2} = 14,5$. Окрім того, з рисунків 3 і 4 можна побачити змі-

щення гармоніки з максимальним значенням амплітуди, а саме: на спектрі реального сигналу ця гармоніка знаходиться на частоті: $f_{\max 1} = 0,014 \text{ ум.од.}$, а на спектрі обмеженого сигналу: $f_{\max 2} = 0,012 \text{ ум.од.}$. Такі відмінності можна розцінювати як розширення основних пелюсток з більшою амплітудою і перекриття ними додаткових гармонік з меншою амплітудою, тобто перекривання частини інформації про наявність гармонійних складових у полігармонічному сигналі. Тому в даному прикладі можемо сказати, що має місце наявність складових невизначеності від накладання спектрів і розширення основних пелюсток досліджуваного спектру.

З іншого боку, не слід нехтувати і спектром сигналу, обмеженого віконною функцією, адже відсутність додаткових пікових значень може свідчити про відсутність паразитних гармонійних складових на виділеному проміжку реального вихідного сигналу.

Ще одна складова невизначеності спектрального аналізу: невизначеність амплітуди. Для розгляду цієї невизначеності в якості досліджуваної функції беремо (6). За основу алгоритму оцінювання невизначеності обираємо алгоритм оцінки невизначеності результатів прямих багаторазових вимірювань за [10]. Виходячи з (6) амплітудні значення дискретного косинусного перетворення Фур'є рівні:

$$X_{nA} = \frac{c_n}{\cos(\varphi_n)} = \left[\int_{-T/2}^{T/2} x(n\Delta t) \cdot \cos\left(-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - wn\Delta t\right) d\Delta t \right] / \cos(\varphi_n), \quad (7)$$

де φ_n – фаза n -ї гармоніки спектру.

За вказаним вище алгоритмом необхідно розрахувати середнє значення амплітуд:

$$\bar{X}_{nA} = \frac{\sum_{n=1}^N \left[\int_{-T/2}^{T/2} x(n\Delta t) \cdot \cos\left(-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - wn\Delta t\right) d\Delta t \right] / \cos(\varphi_n)}{N}, \quad (8)$$

нехай $-\frac{(n\Delta t - b)^2}{j4 \cdot a^2} - wn\Delta t = \alpha$. Тоді стандартна невизначеність середнього значення амплітуди буде розраховуватися за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \left(N \cdot \left[\int_{-T/2}^{T/2} x(n\Delta t) \cdot \cos(\alpha) \right] d\Delta t / \cos(\varphi_n) - \sum_{n=1}^N \left[\int_{-T/2}^{T/2} x(n\Delta t) \cdot \cos(\alpha) \right] d\Delta t / \cos(\varphi_n) \right)^2}{N(N-1)}}. \quad (9)$$

З формули бачимо, що невизначеність амплітуди буде мінімальною при $\cos(\alpha) \rightarrow 0$, тобто при $\alpha = \frac{\pi}{2} = \frac{3\pi}{2} = \dots = \frac{k\pi}{2}$ і т.д. при $k = 1, 3, 5, \dots$. Розрахуємо необхідний час дискретизації за цих умов:

$$-n\Delta t \left(\frac{(1-b)^2}{j4 \cdot a^2} - w \right) = \frac{k\pi}{2} \Rightarrow n\Delta t = -\frac{k\pi}{2} \cdot \frac{1}{(1-b)^2 / j4 \cdot a^2 - w} \quad (10)$$

Отже, результат невизначеності по амплітуді буде мінімальним, якщо буде виконуватися рівність (10).

Наступною складовою, яку необхідно оцінити є невизначеність від апроксимації при відновленні сигналу після спектрального аналізу. Ця складова залежить від частоти дискретизації $f_d = \frac{1}{\Delta t}$, тобто від кроку дискретизації, і способу апроксимації. Найбільш поширеною є кусково-лінійна апроксимація. Для кусково-лінійної апроксимації застосовуються ступеневі поліноми першого порядку. При такому наближенні крива в проміжках між двома відомими значеннями заміняється відрізком прямої. Тоді найбільше значення невизначеності буде на тих проміжках зміни кривої, де друга похідна матиме найбільше значення. Складову невизначеності тоді можна розрахувати за формулою:

$$u_{an} = \frac{1 \cdot \pi^2 \cdot f_n^2}{2 \cdot f_o} = \frac{1}{2} \cdot \pi^2 \cdot \Delta t \cdot f_n^2, \quad (11)$$

де $f_n = n \frac{1}{T}$ – частота повного сигналу. Якщо спектр обмежений частотою $f_{обм}$, а інтервал дискретизації задовольняє умову $\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_{обм}}$, то період повторення спектра буде вдвічі більший за $f_{обм}$ і, відповідно, зменшиться значення невизначеності відтворення сигналу.

Висновки. В даній публікації було проаналізовано основні складові невизначеності спектрального аналізу. На прикладах показано як застосування віконної функції у спектральному аналізі впливає на результати дослідження сигналів складної форми з локально зосередженими параметрами. Основними складовими невизначеності спектрального аналізу є невизначеності від розтікання спектру, а саме: накладання спектрів, через це неможливо визначити до якої з основних гармонік відноситься енергія, що лежить в межах інтервалу накладання; розширення основних пелюсток спектру, через що відбувається зменшення енергії основної гармоніки; виникнення додаткових гармонік в спектрі сигналу за рахунок некротних частоти досліджуваного сигналу і частоти ви-

бірки при перетворенні Фур'є. За умов зменшення ширини вікна збільшується невизначеність знаходження частот з найбільшими енергіями. Також на загальну невизначеність впливають складові невизначеності по амплітуді і частоті сигналу. Надалі планується дослідження впливу динамічної невизначеності на загальний результат спектрального аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Guide to the expression of uncertainty in measurement. (First edition 1993) International Organization for Standardization. 1993.
2. Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of measurement data – An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents – JCGM 104:2009.
3. Joint Committee for Guides in Metrology. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms – VIM 3rd edition – 2008.
4. Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement – JCGM 100:2008.
5. Васілевський О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник / О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с.
6. Consolatina Liguori. UNCERTAINTY ON SIGNAL PARAMETER ESTIMATION IN FREQUENCY DOMAIN / Trends in Electrical Measurement and Instrumentation - September 13-14, - Lisbon, Portugal – 2001. – 276 – 280 p.
7. Васілевський О. М. Спектральний метод оцінювання динамічної непевності вимірювання / О. М.Васілевський // Третя міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2015), 27-29 жовтня, 2015 р. Збірник тез доповідей. – Вінниця – 38 с.
8. T.Kallinger et al. A heuristic derivation of the uncertainty for frequency determination in time series data / T. Kallinger, P. Reegen, and W. W. Weiss // Astronomy & Astrophysics - A&A - Volume 481, Number 2, April II 2008 – 571- 574 p.
9. Єременко В.С., Осінцева М. Б. Методика виявлення інформативних параметрів на локальних проміжках складних сигналів / Єременко В.С., Осінцева М. Б. // The 4th International scientific and practical conference “Perspectives of world science and education” (December 25-27, 2019) – CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2019 – 358 - 364 pages
10. Васілевський О. М. / Основи теорії невизначеності вимірювань: навчальний посібник / Васілевський О. М., Кучерук В.Ю. – Херсон: Олді-плюс, 2013 – 223 с.

REFERENCES

1. Guide to the expression of uncertainty in measurement. (First edition 1993) International Organization for Standardization. 1993.
2. Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of measurement data – An introduction to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” and related documents – JCGM 104:2009.
3. Joint Committee for Guides in Metrology. International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms – VIM 3rd edition – 2008.
4. Joint Committee for Guides in Metrology. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement – JCGM 100:2008.
5. Vasilevskiy O. M. Osnovy teorii nevyznachenosti vymiriuvan :pidruchnyk/ O. M. Vasilevskiy, V. Yu. Kucheruk, Ye. T. Volodarskiy. – Vinnytsia :VNTU, 2015. – 230 p.
6. Consolatina Liguori. UNCERTAINTY ON SIGNAL PARAMETER ESTIMATION IN FREQUENCY DOMAIN / Trends in Electrical Measurement and Instrumentation - September 13-14, - Lisbon, Portugal – 2001. – 276 – 280 p.
7. Vasilevskiy O. M. Spektralnyi metod otsiniuvannya dynamichnoi nepevnosti vymiriuvannya / O. M. Vasilevskiy // Tretia mizhnarodna naukova konferentsiia «Vymiriuvannya, kontrol ta diahnozyka v tekhnichnykh systemakh» (VKDTS-2015), 27-29 zhovtnia, 2015 r. Zbirnyk tez dopovidei. – Vinnytsia – 38 p.
8. T.Kallinger et al. A heuristic derivation of the uncertainty for frequency determination in time series data /T. Kallinger, P.Reegen, and W.W. Weiss// Astronomy & Astrophysics - A&A -Volume 481, Number 2, April II 2008 – 571-574 p
9. Yeremenko V.S., Osintseva M. B. Metodyka vyivlennia informatyvnykh parametriv na lokalnykh promizhkakh skladnykh syhnaliv / Yeremenko V.S., Osintseva M. B. // The 4th International scientific and practical conference “Perspectives of world science and education” (December 25-27, 2019) – CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2019 – 358 - 364 p
10. Vasilevskiy O.M. / Osnovy teorii nevyznachenosti vymiriuvan: navchalnyi posibnyk / Vasilevskiy O. M., Kucheruk V.Iu. – Kherson: Oldi-plus, 2013 – 223 p.

Received 11.04.2022.

Accepted 14.04.2022.

Utilization of machine and their elements is actual science and practical task

Basic physical and mechanical properties of heatcover composition material that is used for making of protective screens are experimentally investigated. For this purpose on the example of flowed plastic STEF executed (with the use of traditional charts) research at small (less than 1 m/s) and high (more than 3 m/s) rate-of-change of ladening. At

small speeds of lading durability of material was investigated at superficial deformation, tension, bend and change. At high speeds work of destruction and shock viscosity was determined. Organization and realization of experiments were done according to rules of planning experiments. All investigations were made with the using kinds of experimental equipment which had according certifications of control their quality and accuracy. Obtained results were treated by methods of mathematical statistics and researches of their dispersions.

The results of experimental researches drawn on at the decision of concrete design-engineering tasks, in particular, at development of equipment and choice of the modes of crushing of composition materials during their utilization (although, undoubtedly, the obtained data have more wide value). For example, data of intruding conical elements in material were used for selecting optimal angles for working elements of equipment. Correlations between power parameters of intruding process were used for selecting power parameters of equipment for crushing of composition materials.

Equipment and technology for crushing of composition materials during their utilization, which are designed on the base of these investigations, have new useful technical and technological specialties, that is why, authors obtained document of intellectual property on this object.

Єременко Володимир Станіславович – д.т.н., професор, завідувач кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Осінцева Марія Борисівна – аспірант кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Eremenko Volodymyr Stanislavovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Measurement Systems, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Osintseva Mariia Borysivna – Postgraduate student of the Department of Information and Measurement Systems, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

О.О. Фурса, О.В. Тітова, Д.А. Лосіхін, Д.О. Вільшанський, Ю.С. Перекрестний

РОЗРОБКА ДОЗУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ТОНЕРІВ ТА АЛГОРИТМ ЙОГО КЕРУВАННЯ

Анотація. Об'єктом дослідження є дозувальний пристрій для тонеру. В зв'язку з великим попитом на комп'ютерну техніку, виникає потреба в допоміжному обладнанні, що задовольнить потреби сучасного світу. Тонер це порошок з маленьким розміром часток, що застосовується в друкарській справі. Завдяки мікрочасткам цього компоненту друкарській галузі суттєво вдалося покращити якість відбитку. Але при його дозуванні виникає ряд проблем. Загальним обладнанням для його дозування є дозатори. Дозування – це вимірювання потрібної кількості продукції за масою, об'ємом або поштучно. Відміряна кількість продукції переміщується в тару або у пакувальний матеріал, та називається фасуванням. Діапазон необхідних доз, додержання заданих технологічних вимог під час дозування, обумовлює застосування пристроїв дозування різних за своєю конструкцією і способом дозування. В роботі проаналізовано та створено працюючий дозуючий пристрій, шнекового типу, їх застосовують для дозування важкоплинної продукції. Важко забезпечити точність дозування продукції, яка є текучою та при незначному стисканні злипається. Загальними технологічними параметрами що повинні контролюватися під час роботи дозатора є вага, температура та вологість повітря. Створений дозатор дозволяє адекватно описувати процеси керованого руху дозування і дає змогу досліджувати процес дозування в безперервний спосіб. Описано алгоритм і розроблено структуру системи автоматичного управління, що забезпечує номінальне завантаження. Побудовано дозатор, на базі мікропроцесорного контролера (МПК) ATmega328P. В даній роботі завдяки комплексному підходу аналізу даних вирішили проблему автоматизації процесу дозування та аналізу способів рівномірного завантаження. Ключові слова: дозуючий пристрій, тонер, регулювання, мікропроцесорний контролер, автоматизація, програмне забезпечення, алгоритм програмного коду

Постановка проблеми. Останнім часом дуже гостро постало питання дозування тонерів для широкого кола споживачів, так як споживачів багато, а оригінальних картриджів за доступною ціною дуже мало. Попит за цим запитом перевищує можливості. А праця заправників небезпечна, та сповільнена. Так як тонер [3,4] за своєю структурою дуже маленька частина. Вона має склад-

ну матричну будову. Розмір частки тонеру складає від 1 до 20 мкм. Така будова призвела до появи специфічних притаманних йому властивостей. Це [3,4] властивість до мікроагломерації, накопичення статичного заряду, гігроскопічність, низька температура плавлення, велика різниця між фактичною та насипною щільністю, магнетизм. та в додачу, при русі з'являються властивості в'язкоплинних рідин [5-11]. Розглянувши всі переваги та недоліки цієї проблеми дійшли висновку, що дана тема є актуальною та багатогранною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теперішній час дозатори [1,2] для фасування тонеру в Україні не випускаються. Є лише два підприємства в світі для фасування тонеру, це заводи в Росії та Китаї. Ця ніша виробництва є доволі специфічною, але попит на неї дуже великий. За функціональною ознакою дозатори для тонеру призначені для точного дозування з великих емностей в маленькі. При цьому дозуючий пристрій повинен захищати від тонерного пилу або його викиду. На даний час, для потреб різних галузей промисловістю випускаються[1]: вагові, повітряні, озоні та інші дозатори.

Проаналізувавши [1,2,6,11,12,15,17] існуючі системи автоматичного фасування тонеру або дрібнодисперсних порошків, при належному контролі та регулюванні ваги, температури, тиску, вологості та рівня, дійшли висновку, що необхідно використовувати надійний засіб централізованого контролю та регулювання яким є мікропроцесорний контролер.

Сучасні дозатори[1,2] можна поділити на: – дозатори безперервної дії, що створюють безперервний та рівномірний потік продукції; – дозатори дискретної (періодичної) дії, що важать продукцію дискретними дозами; дози можуть дозуватися одна за одною з різними часовими інтервалами; та – дозатори безперервно-циклічної дії, що створюють безперервний та рівномірний потік продукції, який переривається для виконання автоматичних дій із дозування продукції; сукупність тривалості роботи і зупинки складає технологічний цикл, що повторюється.

В дозуванні тонеру є певні особливості, які залежать від його структури та складу. Центром магнітного тонера[12-14,20] є магнітна частка – магнетит, наступним шаром розташований барвник, а потім полімер, який створює навколо матрицю і пов'язує всі компоненти в єдине ціле. Так як полімери, що використовуються при виробництві тонерів, безбарвні, до них додаються фарбувальні пігменти. Для отримання чорного кольору в магнітні тонери доданий магнетит, а в немагнітні - сажа. Для отримання кольору, відмінного від чорного, полімери включають вкраплення барвників відповідного кольору. Пігмент рівно-

мірно розподіляється на поверхні кожної частинки тонера. Його маса становить трохи більше 10% маси гранули.

У немагнітному тонері ядром матриці виступає саме полімер, що одночасно є і сполучним компонентом, а вже потім частка доповнена добавками парафіну, та іншими компонентами.

До їх складу [15-17] потрапляють і емульгатори, це зумовлено недоліками сучасної технології виробництва. Та є небажаним фактором, який виробники всіляко намагаються зменшити, але виключити повністю, поки що, не вдається.

Мета дослідження. Загальне завдання апарату – це вимірювання та відвантаження потрібної кількості тонеру в тару з дотриманням усіх технологічних норм, недотримання цих норм може призвести до нестачі продукції. У конструкцію необхідно включити панель управління, з якої оператор зможе задавати необхідну масу навішування для дозування, а також є необхідність обнуління значення на датчику. Обов'язковим є можливість управління апаратом і аварійне відключення його вузлів. Перепрограмування алгоритму роботи є великою перевагою, оскільки програмну складову алгоритму управління процесу експлуатації можна вдосконалювати. Очищення апарату після дозування є обов'язковим, тому необхідно врахувати і включити в конструкцію можливість очищення загальних вузлів апарату, а саме бункера і шнекового вузла від залишкового матеріалу.

Зваживши на всі етапи процесу, метою роботи було обрано розробку працюючого дозатору шнекового типу з урахуванням всіх особливостей роботи зі специфічним матеріалом. А також розробити алгоритм його роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження. Дозування на проектуваному апараті відбувається в наступному порядку: спочатку мішок або коробку з тонером зважують на терезах, потім визначають температуру тонеру, це потрібно для того, щоб забезпечити у відповідній якості продукт, який буде фасуватися. Якщо температура відповідає нормальному значенню для використання у технологічному процесі, тонер завантажують у бункер апарату. Після включення живлення дозатора, задається необхідна програма на панелі ручного управління та починається процес дозування тонеру, процес перемішування сировини має бути постійним.

Оператор, керує та стежить за технологічним процесом, може змінювати програму навантаження, тобто кількість маси тонеру, яка навантажується в тару. Під час роботи апарату обов'язково контролюється температура повітря.

Після закінчення циклу дозування в апараті запускається програма очищення шляхом продування стисненим повітрям основних вузлів апарата. Забруднене повітря після очищення має бути очищене спеціальним фільтром.

Для виконання основних завдань з контролю технологічних параметрів та управління технологічним процесом вибрано мікропроцесорний контролер ATmega328P[18-19] на базі плати KEYSTUDIO UNO R3, сумісної з ARDUINO UNO REV3. Як інтерфейс USB-UART використаний мікроконтролер ATmega16U2, що дозволяє підвищити швидкість передачі даних.

Плата Arduino[18] складається з процесора Atmel AVR, а також елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. В багатьох платах є лінійний стабілізатор напруги +5В або +3,3В. Тактування здійснюється на частоті 16 або 8 МГц кварцовим резонатором. У мікропроцесор записаний завантажувач (bootloader), тому зовнішній програматор не потрібен. На концептуальному рівні всі плати програмуються через RS-232, але реалізація цього способу відрізняється від версії до версії. Нові плати програмуються через USB, що можливо завдяки мікросхемі конвертера USB-to-Serial FTDI FT232R. Сторонніми виробниками випускається велика гама всіляких датчиків та виконавчих пристроїв, які в тій чи іншій мірі сумісні між собою та процесорними платами Arduino.

На принциповій схемі (рис.1) зображено дійсне просторове розташування складових частин.

Макетна схема (рис 2) відображає загальні електронні компоненти та їх зв'язки.

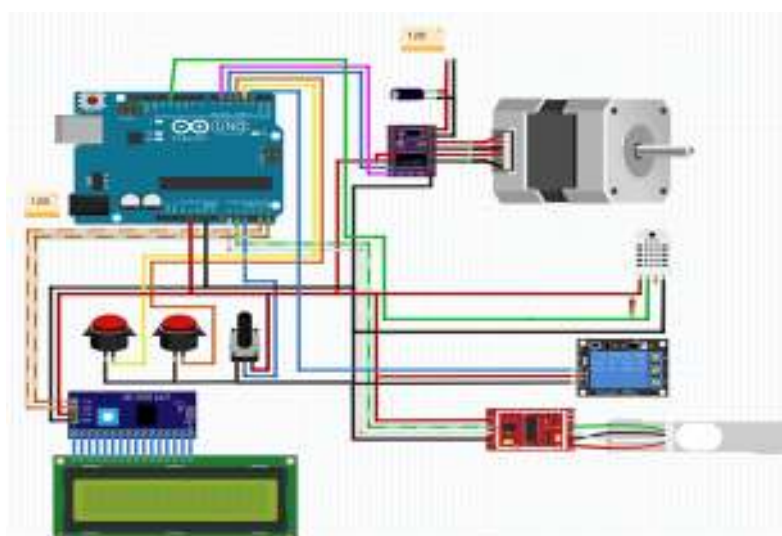


Рисунок 1 - Принципова макетна схема дозатору

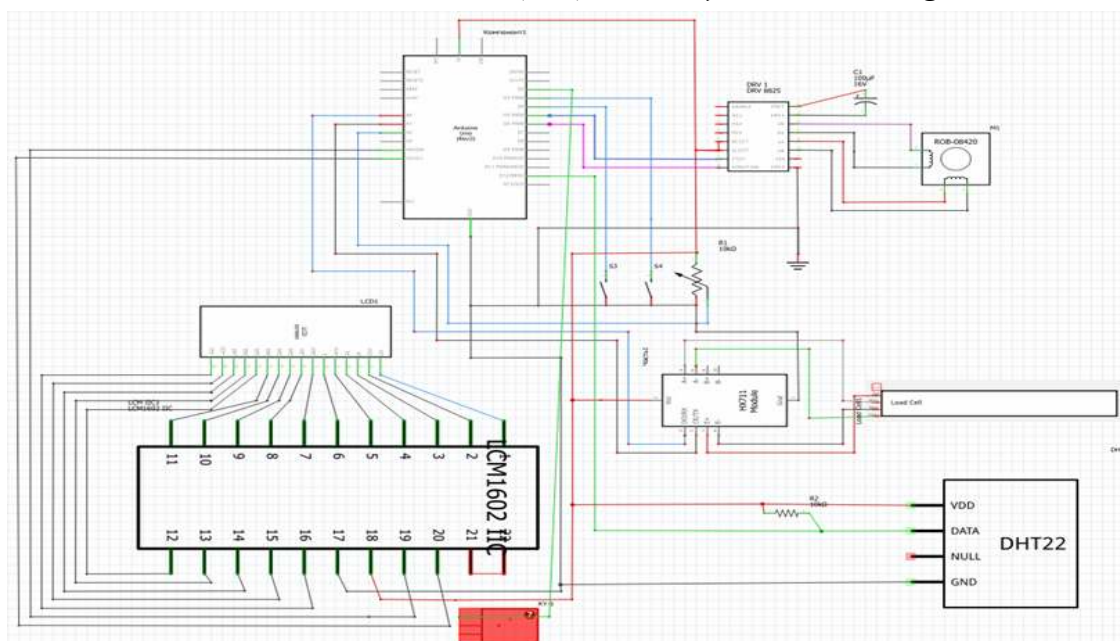


Рисунок 2 - Електрична принципова схема дозатору

У ході роботи розробили загальний заземлюючий контакт, це потрібно для того, щоб зняти з електронних компонентів шкідливу статичну напругу, яка може вивести з ладу чутливі електронні системи.

Для управління з використанням програмованого мікропроцесора Atmega на базі плати KEYSTUDIO необхідно було розробити алгоритм і запрограмувати його мовою C++, використовуючи при цьому спеціалізоване середовище розробки так званих "скетчів" - програм, написаних у середовищі Arduino [9-10,18-19].

Розроблений алгоритм керування призначений для здійснення автоматизованого керування технологічним процесом дозування тонеру. Він забезпечує стійке ведення процесу дозування шляхом підтримки змінних процесу в регламентних межах.

Дозування на апараті відбувається в такий спосіб. Спочатку перевіряють стан тонеру та завантажують його до бункеру. Підключають блок живлення до мережі, після переведення апарата в стаціонарний режим розпочинають роботу з ним. На панелі керування відображається значення задачі навішування: TASK 0. Потім потенціометр встановлює потрібне значення дози. Після встановлення завдання порожню тару встановлюють на вагову платформу та натискають кнопку ТАРА. Після цього натискають кнопку початку процесу дозування. Після досягнення потрібного значення на тензодатчику шнек зупиняється. На рис. 3 наведено вигляд дисплею під час дозування.



Рисунок 3 - Вид дисплею під час дозування

Після закінчення роботи апарат очищують від залишкового тонеру.

Середовище розробки Arduino[18-19] складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, області повідомлень, вікна виведення тексту (консолі), панелі інструментів з кнопками команд, що часто використовуються, і кількох меню. Для завантаження програм та зв'язку з середовищем розробки до апаратної частини підключається Arduino.

Скетч написаний мовою C++ скомпільований в середовищі Arduino IDE і виглядає наступним чином:

```
#include <Stepper.h> // Підключаємо бібліотеку для роботи з кроковим двигуном
#include "HX711.h" // Підключаємо бібліотеку для роботи з платою АЦП тензодатчика
#include <Wire.h> // Підключаємо бібліотеку для зв'язку мікроконтролера з іншими пристроями через інтерфейс I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Підключаємо бібліотеку для роботи з LCD дисплеєм
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Вказуємо параметри дисплея
#define DT A0 // Вказуємо номер виводу на платі, до якого підключений DT тензоперетворювач
#define SCK A1 // Вказуємо номер виводу на платі, до якого підключений DT тензоперетворювач
#define pot A2 // Вказуємо номер виведення на платі, до якого підключений середній висновок від потенціометра
const int stepsPerRevolution=211; // Задаємо константу через змінну для установки параметра кількості кроків в один оберт валу крокового двигуна
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 5, 6); // Задаємо піни, до яких підключається плата управління кроковим двигуном і встановлюється кількість кроків обертів.
HX711 scale; // Створюємо об'єкт scale
float calibration_factor=-7.07; // Задаємо калібрувальний коефіцієнт для тензоперетворювача
```

```
float units; // Задаємо змінну для виміру в грамах  
float ounces; // Задаємо змінну для вимірювання в унціях  
int task; // Задаємо змінну для завдання дозування
```

...і так далі. Одним із засобів підвищення надійності є використання сторожового таймера [18] (watchdog) для контролю за виконанням програми. Він є апаратним таймером, який має періодично скидатися із програмою. Якщо скидання сторожового таймера не відбудеться протягом заданого часу, він викличе перезавантаження всієї системи, тобто перезавантаження мікроконтролера. Таким чином, якщо програма зависне і перестане скидати сторожовий таймер, то мікроконтролер буде перезавантажено, ніби натиснувши кнопку скидання.

У системах Arduino є сторожовий таймер [18-19], що є внутрішнім вузлом мікроконтролера ATmega. Бібліотека для роботи зі сторожовим таймером Arduino – `avr/wdt.h`. Це стандартна бібліотека, вона знаходиться у каталозі Arduino[18-19]. Для її застосування просто додаємо в проект рядок:

```
#include <avr/wdt.h>
```

Скидання сторожового таймера. Для нормальної роботи необхідно викликати цю функцію не рідше за період сторожового таймера. При затримці таймаут, що перевищує, відбудеться апаратне скидання контролера.

```
wdt_reset(); // Скидання сторожового таймера  
void wdt_disable(void); //Вимкнення сторожового таймера.  
wdt_disable(); // Заборона роботи сторожового таймера.
```

Сторожовий таймер[18] дозволяє контролювати виконання окремих циклів програми.

Організовано цикл переривання за таймером 2мс. В загальному асинхронному циклі реалізовано керування світлодіодом плати (блимає з періодом 1 сек).

В основному циклі перевіряються дані з послідовного порту та при появі будь-яких даних забороняється робота переривання по таймеру. Цим імітується збій установок таймера.

```
// Перевірка роботи сторожового таймера  
#include <MsTimer2.h>  
#include <avr/wdt.h>  
#define LED_PIN 13 // світлодіод підключений до виводу 13  
int ledCount; // лічильник часу миготіння світло діода  
void setup() {  
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT); // Визначаємо виведення світло-  
діоду як вихід  
    Serial.begin(9600); // ініціалізуємо послідовний порт
```

«Системні технології» 4 (141) 2022 «System technologies»

```
MsTimer2::set(2, timerInterupt); // задаємо період пере-
ривання від таймера 2 мс
MsTimer2::start(); // дозволяємо переривання від таймера
// wdt_enable(WDTO_15MS); // Дозвіл роботи сторожового
таймера з тайм-аутом 15 мс
}
void loop() {
// Миготіння світлодіода
if (ledCount > 250) {
ledCount=0;
digitalWrite(LED_PIN, ! digitalRead(LED_PIN)); // інверсія
стану світлодіода
}
// Перевірка даних у буфері послідовного порту (імітація
збою)
if (Serial.available() != 0 ) MsTimer2::stop(); // Заборона
переривання від таймера
}
void timerInterupt() { // обробник переривання

ledCount++; // лічильник світлодіода
// wdt_reset(); // Скидання сторожового таймера
}
```

Сторожовий таймер не є панацеєю від неправильної роботи програми.

Тільки комплекс заходів дозволить написати надійну програму.

Але краще використовувати апаратне скидання, щоб перевстановити всі регістри мікроконтролера. Зробити це можна, використовуючи сторожовий таймер:

```
wdt_enable(WDTO_15MS);
while (1) { }
```

Контролює хід виконання програми. Однією з найпоширеніших помилок, що призводить до зависання програми, є очікування події в безкінечному циклі.

Висновки. Таким чином, звернувши увагу на все вище наведене, можемо зробити висновки, що було розроблено, виготовлено та апробовано в дійсних умовах шнековий дозатор для тонерних порошків. Прописано алгоритм його роботи та керівництво користувача програмного продукту дозатора.

Він повністю відповідає технологічним потребам, легко налаштовується та програмується на вибраних контролерах. Система показала себе як ефективну, програмна сигналізація працює чітко без затримок.

Загалом отримано такі результати:

- Створений дозатор дозволяє фасувати тонер з дотриманням технологічних норм;

- У проекті використовується програмна сигналізація технологічних параметрів вологості та температури, в експерименті сигналізація показала себе ефективною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гавва О. М. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волочко. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
2. Емельянов А. И. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. И. Емельянов, О. В. Капник— М.: Энергоиздат, 1983.- 400 с.
3. Словарь терминов принтеров, МФУ и копиров [Электронный ресурс]. — <http://itprospb.ru/2009/04/slovar-terminov-printerov-mfu-i-kopirov/>
4. Что такое тонер [Электронный ресурс]. — https://itshnik.com.ua/articles/koren/Chto_takoe_toner
5. Широкий Д.К. Расчет параметров промышленных систем регулирования / Д.К. Широкий, О.Д. Куриленко. — К.: Техніка, 1972. — 232 с.
6. Перов В.Л. Основы теории автоматического регулирования химико-технологических процессов / В.Л. Перов. — М.: Химия, 1970. — 352 с.
7. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук — 2-ге вид., переробл. і доп. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
8. Медведев Р.Б. Навчальна система побудови стратегій керування на базі мікропроцесорної техніки / Р.Б. Медведев, С.Г. Бондаренко, О.В. Сангинова // Вісник НТУУ "КПІ" Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2008.— №2(2).— С. 31-36.
9. Станция Experion TM Process Knowledge System: Руководство по эксплуатации — Honeywell Experion PKS. — Fort Washington, PA, 2005 - 25 с.
10. Построение алгоритмов управления: Руководство пользователя — Honeywell Experion PKS. — Fort Washington, PA, 2006 - 818 с.
11. A Guide for Printers / Alberta, Occupational Health and Safety Practices [Электронный ресурс]. — <http://work.alberta.ca/documents/OHS-Practices-a-guide-for-printers.pdf>.
12. Cartridge printing theory / Uninet, 2010 [Электронный ресурс]. — http://www.arbikas.com/view/storage/articles/Cartridge_Print_Theory_eng.pdf.

13. Бабіченко А. К. Промислові засоби автоматизації. Ч. I, II. / А. К. Бабіченко, В. І. Тушинський, В. С. Михайлов, М. О. Подустов, О. В. Пугачовський. – Х: НТУ „ХП”, 2001 р. – 470 с.
14. Общеотраслевые руководящие методические материалы по созданию и применению автоматизированных систем управления в отраслях промышленности /ОРМ-3 АСКТП.
15. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности / Е. Г. Дудников и др. -М.: Химия, 1987, - 368 с.
16. Балакирев В.С. Технические средства автоматизации химических производств: Справочник / В.С. Балакирев и др.-М.:Химия,1991.-271с.
17. Смилянский Г.Л.. Справочник проектировщика автоматизированных систем управления технологическими процессами / Г.Л. Смилянский и др. – К.: Техника 1983. – 528 с.
18. Урок 16. Повышение надежности программ для Ардуино. [Электронный ресурс]. – <http://mypractic.ru/urok-16-povyshenie-nadezhnosti-programm-dlya-arduino-storozhevoj-tajmer.html>
19. Урок 14. EEPROM в Ардуино. Контроль целостности данных. [Электронный ресурс]. – <http://mypractic.ru/urok-14-eprom-v-arduino-kontrol-celostnosti-dannyh.html>
20. Перекрестний Ю. С., Фурса О. О. Розробка програмного коду для зв'язку SCADA системи SIMP LIGHT через MODBUS для керування роботою дозуючого пристрою //Innovations and prospects of world science Proceedings of V International Scientific and Practical Conference Vancouver, Canada, 2021, p.310-318.
21. Перекрестний Ю. С., Фурса О. О. Особливості процесу дозування тонеру за допомогою програмних засобів моделювання //Topical issues of modern science, society and education Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference, Kh., 2021, p. 450-453.

REFERENCES

1. Gavva O. M. Equipment for packaging products in consumer packaging / O.M. Gavva, A. P. Bepalko, A. I. Volochko. - К.: IAC «Package», 2008. - 436 с.
2. Emelyanov A. I. Design of automation systems for technological processes / A.I. Emelyanov, O. V. Kapnik - М.: Energoizdat, 1983.- 400 p.
3. Glossary of terms for printers, MFPs and copiers [Electronic resource]. – <http://itprospb.ru/2009/04/slovar-terminov-printerov-mfu-i-kopirov/>.

4. What is a toner [Electronic resource]. – https://itshnik.com.ua/articles/koren/Chto_takoe_toner.
5. Wide D.K. Calculation of parameters of industrial control systems / D.K. Wide, O.D. Kurylenko. - K.: Tekhnika, 1972. - 232 p.
6. Perov V.L. Fundamentals of the theory of automatic control of chemical-technological processes / V.L. Perov. - M.: Chemistry, 1970. - 352 p.
7. Popovich M. G. Theory of automatic control / M. G. Popovich, O. V. Kovalchuk - 2nd ed., Reworked. and ext. - K.: Swan, 2007. - 656 c.
8. Medvedev R. B. Educational system for building control strategies based on microprocessor technology / R. B. Medvedev, S. G. Bondarenko, O. V. Sanginova // Bulletin of NTU "KPI" Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation. - 2008. – №2 (2) .– P. 31-36.
9. Station Experion TM Process Knowledge System: Operations Manual - Honeywell Experion PKS. - Fort Washington, PA, 2005 - 25 p.
10. Building control algorithms: User Guide - Honeywell Experion PKS. – Fort Washington, PA, 2006 - 818 pp.
11. A Guide for Printers / Alberta, Occupational Health and Safety Practices [Electronic resource]. – <http://work.alberta.ca/documents/OHS-Practices-a-guide-for-printers.pdf>.
12. Cartridge printing theory / Uninet, 2010 [Electronic resource]. – http://www.arbikas.com/view/storage/articles/Cartridge_Print_Theory_eng.pdf.
13. Babichenko A.K.. Industrial automation tools. Part I, II. / A. K. Babichenko, V. I. Tushinsky, V. S. Mikhailov, M. O. Podustov, O. V. Pugachevsky. - Kh: NTU "KhPI", 2001 - 470 p.
14. Industry-wide guidance materials on the creation and application of automated control systems in industries / ORM-3 ASKTP.
15. Dudnikov E. G. Automatic control in the chemical industry / E. G. Dudnikov et al. - M.: Chemistry, 1987, - 368 p.
16. Balakirev V. S. Technical means of automation of chemical production: a Handbook / V. S. Balakirev et al.-M.: Chemistry, 1991.-271p.
17. Smilyansky G. L. Handbook of the designer of automated control systems for technological processes / G. L. Smilyansky and others - K.: Technique 1983. - 528 p.

18. Lesson 16. Improving the reliability of programs for Arduino. [Electronic resource]. – <http://mypractic.ru/urok-16-povyshenie-nadezhnosti-programm-dlya-arduino-storozhevoj-tajmer.html>
19. Lesson 14. EEPROM in Arduino. Data integrity control. [Electronic resource]. – <http://mypractic.ru/urok-14-eeeprom-v-arduino-kontrol-celostnosti-dannyx.html>
20. Perekrestny Yu. S., Fursa O. O. Development of software code for SCADA communication of SIMP LIGHT system via MODBUS for control of dosing device operation // Innovations and prospects of world science Proceedings of V International Scientific and Practical Conference Vancouver, Canada , 2021, pp.310-318.
21. Perekrestny Yu. S., Fursa O. O. Peculiarities of the toner dosing process with the help of modeling software // Topical issues of modern science, society and education Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Kh., 2021, p. 450 -453.

Received 11.04.2022.

Accepted 14.04.2022.

Development of a dispenser toner dosing and its control algorithm

Abstract. The object of the study is the toner dispenser. Due to the high demand for computer technology, there is a need for ancillary equipment that will meet the needs of today's world. Toner is a powder with a small particle size used in printing. Thanks to the microparticles of this component, the printing industry has significantly improved the quality of the print. But with its dosage there are a number of problems. The general equipment for its dosing are dispensers. Dosage is a measurement of the required amount of product by weight, volume or piece. On a functional basis, toner dispensers are designed for accurate dosing from large containers to small ones. The dosing device must protect against toner dust or its emission. The measured amount of product is moved to the container or packaging material, and is called packaging. The range of required doses, compliance with the specified technological requirements during dosing, determines the use of dosing devices different in design and method of dosing. The paper analyzes and creates a working dosing device, screw type, they are used for dosing heavy products. It is difficult to ensure accurate dosing of products that are fluid and stick together with little compression. The general technological parameters that must be controlled during the operation of the dispenser are weight, temperature and humidity. The operator who manages and monitors the technological process can change the load program, the amount of toner weight that is loaded into the container. During the operation of the device, the air temperature must be monitored. After the end of the dosing cycle, the cleaning program is started by blowing the main components of the device with compressed air. The created dispenser allows to adequately describe the processes of con-

trolled dosing movement and allows to investigate the dosing process in a continuous way. The algorithm is described and the structure of the automatic control system is developed, which provides the nominal load. A dispenser based on the ATmega328P microprocessor controller (IPC) based on the KEYSTUDIO UNO R3 board compatible with ARDUINO UNO REV3 is built. The ATmega16U2 microcontroller is used as a USB-UART interface, which allows to increase the data transfer rate. In this paper, thanks to a comprehensive approach to data analysis solved the problem of automating the process of dosing and analysis of methods of uniform loading.

Keywords: dosing device, toner, regulation, microprocessor controller, automation, software, software code algorithm.

Фурса Ольга Олександрівна - кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет.

Тітова Олена Василівна - доцент, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет.

Лосіхін Дмитро Анатолійович - старший викладач, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет.

Вільшанський Дмитро Олександрович – Вчитель, StartUp IT Academy.

Перекрестний Юрій Сергійович – магістр, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет.

Fursa Olha - candidate of technical sciences, associate professor, department of computer integrated technologies and automation, Ukrainian State University of Chemical Technology.

Titova Elena - candidate of technical sciences, associate professor, department of computer integrated technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology.

Losikhin Dmytro - senior lecturer, department of computer integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology.

Vilshanskyi Dmytro – teacher, StartUp IT Academy.

Perekrestnyi Yuriy – Master, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology.

Т.В. Кімстач, К.І. Узлов, С.І. Реп'ях, Л.І. Солоненко, І.О. Осіпенко

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ МЕХАНІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ
ОЛОВ'ЯНО-АЛЮМІНІЄВОЇ БРОНЗИ**

Анотація. Встановлено статистично значущі зв'язки між властивостями литої олов'яно-алюмінієвої бронзи при вмісті олова та алюмінію до 6% кожного, а також між властивостями бронзи та її хімічним складом, що дозволить прогнозувати рівень механічних властивостей при заливанні в суху піщано-рідкоскляну форму.

Ключові слова: бронзи; механічні властивості; легуючі елементи; функціональні залежності; комплексний показник.

Постановка проблеми. Металеві деталі різних машин, механізмів, агрегатів для успішного виконання службових функцій повинні мати певний рівень механічних властивостей. Цей комплекс показників, що є одним з основних характеристик будь якого сплаву, визначає працездатність деталей і, в основному, залежить від наступних факторів: природи металу – основи сплаву (типу кристалічних ґраток і величини сил міжатомної взаємодії), хімічного складу сплаву (ступеня легованості), наявності, виду та кількості шкідливих домішок, наявності, виду та кількості неметалевих включень та розчинених газів – (О, Н, N), умов та швидкості тверднення виливків.

Характер зміни рівня механічних властивостей сплаву при зміні того, або іншого фактору може бути найрізноманітнішим. Тому, під час розробки технології виготовлення будь якої литої деталі, виникає необхідність відшукати статистично значущі зв'язки між властивостями сплаву, а також між властивостями сплаву та його хімічним складом, умовами кристалізації тощо, які дозволять розрахунковим шляхом прогнозувати значення його механічних властивостей спираючись на обмежену кількість експериментальних даних. Наявність таких функціональних залежностей дозволяє значно скоротити витрати часу та коштів на розробку або корегування хімічного складу будь-якого сплаву з метою підвищення експлуатаційних властивостей та довговічності відповідної кожної конкретної литої деталі.

Аналіз досліджень і публікацій. В даний час питанням пошуку функціональних залежностей між показниками механічних властивостей, хімічним складом сплавів, умовами тверднення сплаву тощо, присвячена значна кількість досліджень. Зокрема, авторами роботи [1] встановлено залежності між тимчасовим опором при розтягуванні (σ_B) ряду сплавів та їх твердістю (HB), опором зрізу та межею міцності.

В роботах [2-6] для непрямого визначення характеристик міцності авторами рекомендовано використовувати рівняння виду:

$$\sigma_B = A \cdot HB, \quad (1)$$

де A – коефіцієнт HB (твердість за Брінелем, од), про що, зокрема, свідчать дані табл. 1.

Таблиця 1

Залежність між числом твердості по Брінелю (HB) та тимчасовим опором при розтягуванні (σ_B) [2-6]

Матеріал	HB, МПа	Вид обробки	Залежність
Сталь	1250–1750	–	$\sigma_B = 0,343 HB$
	> 1750	–	$\sigma_B = 0,362 HB$
Маловуглецеві ковані та гарячекатані сталі	–	–	$\sigma_B = 0,36 HB$
Високоміцні сталі	–	–	$\sigma_B = 0,33 HB$
Серій чавун	–	–	$\sigma_B = (HB-40) / 6$
Алюмінієве лиття	–	–	$\sigma_B = 0,26 HB$
	200–450	–	$\sigma_B \approx (0,33 - 0,36) HB$
Алюмінієві деформовані сплави	–	–	$\sigma_B = 0,38 HB$
Мідь, латунь, бронза	–	відпал	$\sigma_B = 0,55 HB$
	–	наклеп	$\sigma_B = 0,40 HB$
Дуралюмін	–	відпал	$\sigma_B \approx 0,36 HB$
	–	загартування та старіння	$\sigma_B \approx 0,35 HB$
Титанові сплави	–	–	$\sigma_B \approx 0,30 HB$

З аналізу даних табл. 1 витікає, що для одного й того ж матеріалу σ_B значною мірою залежить від НВ, тобто від його структурної будови, яка обумовлена типом обробки.

За даними роботи [7] для розрахунку межі витривалості матеріалу (низьковуглецевих низьколегованих сталей) пропонується наступний ряд залежностей:

$$\sigma_{-1} = 0,47 \cdot \sigma_B \quad (2)$$

$$\sigma_{-1} = 0,35 \cdot \sigma_B + 122 \quad (3)$$

$$\sigma_{-1} = 0,25 \cdot (\sigma_B + \sigma_{0,2}) \quad (4)$$

де σ_{-1} – межі витривалості, МПа;

σ_B – тимчасовий опір при розтягуванні, МПа;

$\sigma_{0,2}$ – умовна межа плинності, МПа.

Зіставлення розрахункових та експериментальних даних авторами роботи [8] показало їх найбільшу збіжність у разі визначення σ_{-1} за рівнянням (2). При цьому розрахункові значення межі витривалості практично у всіх випадках вищі за експериментальні, а максимальна різниця між розрахованими та експериментальними величинами досягає 19...20%. Розрахунки межі витривалості вуглецевих і низьколегованих сталей за формулами (3, 4) дає різницю у таких значеннях близько 35% [8].

Для розрахунку відносного подовження (δ) конструкційних вуглецевих та легованих сталей у роботі [7] запропоновано наступне співвідношення:

$$\delta = \frac{420 \cdot 100\%}{2\sigma_B + \sigma_{0,2}} \quad (5)$$

Для визначення відносного звуження (ψ) вуглецевих сталей, залежно від їх попередньої термічної обробки, автори рекомендують використовувати наступні залежності:

– після загартування та відпуску:

$$\psi = 105 - 0,0186 \cdot HB \quad (6)$$

– після нормалізації:

$$\psi = 85,6 - 0,0134 \cdot HB \quad (7)$$

– після відпалу:

$$\psi = 105 - 0,0316 \cdot HB \quad (8)$$

В роботі [9] авторами було визначено, що для вуглецевих та легованих гарячекатаних і термічно оброблених сталей між значеннями екстрапольованої межі плинності (S_0) та σ_B , незалежно від марки матеріалу, та попереднього

режиму обробки, існує лінійна залежність. Математична обробка експериментальних даних показує, що S_0 в середньому приблизно на 6% менше σ_B , тобто:

$$S_0 \approx 0,94 \cdot \sigma_B \quad (9)$$

Для всіх досліджуваних в даній роботі [9] матеріалів (армко-залізо, вуглецеві та леговані сталі), що попередньо були гарячекатані або термічно оброблені (відпал, нормалізація або поліпшення), незалежно від виду попередньої обробки і всього діапазону ступенів деформації між напруженням плинності (S) і відповідною твердістю сформованих зразків (HB') існує лінійна залежність виду:

$$S = \frac{HB' - 66}{1,65} \quad (10)$$

Вплив вихідної твердості на величину екстрапольованої межі плинності при стиску вуглецевих та легованих термічно оброблених (відпал, нормалізація, поліпшення) та гарячекатаних сталей можливо описати наступною залежністю:

$$S_0 = 14 + 0,33 \cdot HB \quad (11)$$

Автори роботи [9] зазначають, що в реальних металевих тілах твердість у різних точках тіла може відрізнитися на декілька одиниць, а точність вимірювання при іспитах за Брінелем становить 3%, тому залежності (10) та (11) мають дещо приблизний характер.

У роботі [10] авторами запропонована методика, для прогнозування зміни фізичних властивостей бінарних алюмінієвих сплавів при заміні одного легуючого елемента на інший. В основу досліджень авторами було зроблено припущення о наявності взаємозв'язків між всіма показниками механічних властивостей металевих сплавів. Тобто, маючи кореляційні рівняння та вивчивши детально одну з механічних властивостей сплавів, можливо прогнозувати, як змінюватимуться інші властивості залежно від зміни концентрації одного з легуючих елементів або заміні цього елемента на інший. Перевірку такого припущення проводили [10] для бінарних сплавів на основі алюмінію в області твердих розчинів.

За результатами цих досліджень встановлено, що в області твердих розчинів твердість за Брінелем, тимчасовий опір при розтягуванні і відносне подовження змінюються лінійно зі зростанням концентрації легуючого елемента, що математично можливо описати наступним рівнянням:

$$Y = a + b \cdot x \quad (12)$$

де Y - величина досліджуваної властивості;

a і b - коефіцієнти;

x - концентрація легуючого елемента.

Коефіцієнт a показує величину досліджуваного параметра при нульовій концентрації легуючого елемента, а коефіцієнт b – швидкість зміни даного параметра за зміни концентрації легуючого елемента. Відповідно, при заміні одного легуючого елемента на інший змінюється величина b , а коефіцієнт a залишається незмінним [10].

На рівень механічних властивостей литого сплаву впливають і залишкові напруги в литому виробі, у зв'язку з чим у роботі [11] встановлено зв'язок між рівнем механічних властивостей ряду литих сплавів з величиною їх відносної лінійної усадки. При цьому, чим більше величина лінійної усадки, тим вище міцність сплавів при розтягуванні.

В роботі [12] наведено залежності механічних властивостей титанового сплаву BT5Л від його хімічного складу та товщини стінок виливків ($\delta = 3 \dots 16$ мм):

$$\sigma_B = \sigma_{B(\infty)} + \frac{57}{\delta}, \quad (13)$$

$$\sigma_{B(\infty)} = 250 + 60 \cdot C_{Al}^{1,3} + 87 \cdot C_{Fe}^{1,1} + 330 \cdot C_C^{1,5} + 200 \cdot C_O^{0,9} + 700 \cdot C_N^{1,2},$$

де δ - товщина стінки виливки, мм;

$\sigma_{B(\infty)}$ – тимчасовий опір при розтягуванні сплаву електроду, що витрачається при плавці, МПа;

C_{Al} , C_{Fe} , C_C , C_O , C_N – відповідно, масовий вміст Al, Fe, C, O, N у сплаві електроду, %

$$\sigma_{0,2} = 0,94 \cdot \sigma_{\dot{A}(\infty)} + \frac{9}{\sqrt{0,006 \cdot \delta^{1,75}}}; \quad (14)$$

$$\psi = 0,02627 \cdot \sigma_{B(\infty)} + \frac{67}{\delta^{1,75}}; \quad (15)$$

$$KSU = 2777 - 2,6752 \cdot \sigma_{B(\infty)}. \quad (16)$$

З аналізу залежностей (14-16) випливає, що рівні показників $\sigma_{B(\infty)}$, $\sigma_{0,2}$ та ψ литого сплаву BT5Л зростають із підвищенням у сплаві вмісту Al, Fe, C, O, N, а також із зменшенням товщини стінки виливка. При цьому Fe, O та N найбільш ефективно зміцнюють цей сплав.

На сьогодні відомості про зазначені вище зв'язки для ливарних бронз практично відсутні. Тому, робота, що спрямована на визначення функціональних залежностей між механічними властивостями ливарних бронз та дослідження впливу легуючих компонентів на їх механічні властивості як основи для можливої розробки методики прогнозування їх значень шляхом розрахунків, є актуальною.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є визначення функціональних залежностей між механічними властивостями олов'яно-алюмінієвої бронзи.

Завдання досліджень - дослідження впливу легуючих компонентів в сплавах системи Cu-Sn-Al при вмісті олова та алюмінію до 6% на їх механічні властивості як основи для можливої розробки методики прогнозування їх значень шляхом розрахунків.

Матеріали, методи та методики досліджень. У дослідженнях використовували мідь марки М1 та сплави системи Cu-Al-Sn з масовим вмістом Al до 7,53 % (мас.) та Sn до 6,73% (мас.). Виготовлення дослідних сплавів проводили шляхом сплавлення первинних шихтових матеріалів технічної чистоти в індукційній печі з використанням графітового тигля і деревного вугілля в якості покривного матеріалу. Температуру вимірювали хромель-алюмелевою термопарою у комплекті з потенціометом АТ4208.

Механічні властивості досліджуваних сплавів розраховували за результатами випробувань відповідних зразків при їх статичному розтягуванні і ударному вигині при кімнатній температурі. Зразки для випробувань виготовляли механічною обробкою брусків з тріфоподібної проби, яку одержували заливанням розплаву в піщано-рідкоскляні форми (ПРФ), що мали вміст рідкого скла (РС) 5% за масою. Виготовляли ПРФ набиванням піщано-рідкоскляної суміші з подальшим вилученням зі стрижневого ящика та сушінням в мікрохвильовому середовищі протягом 7 хвилин. Після механічної обробки брусків зразки для випробувань на ударний вигин з U-подібним концентратором розмірами 10x10x55 мм відповідали вимогам ISO 148-1:2016 [13], зразки на статичне розтягування з розмірами робочої частини $\varnothing 6 \times 30$ мм відповідали вимогам ДСТУ ISO 6892-1:2019 [14].

Випробування зразків на статичне розтягування проводили на універсальній випробувальній машині FP100/1, оснащеною системою автоматичного запису діаграми розтягування з визначенням параметрів тимчасового опору при розтягуванні (σ_B) і умовної границі плинності ($\sigma_{0,2}$) при зусиллі 40 кН та

швидкості переміщення траверси 1 мм/хв. Випробування проводили за температури 20 °С. Відносне подовження (δ_5) та звуження (ψ) розраховували за результатами вимірювання довжин та діаметрів робочої частини зразків до та після їх випробувань штангенциркулем з точністю 0,02 мм. Випробування на ударний вигин проводили при температурі 20 °С відповідно до вимог ISO 148-1:2016 [13], на маятниковому копрі марки PSW 30 з максимальною енергією удару 300 Дж.

Контроль хімічного складу сплавів здійснювали на прецизійному аналізаторі EXPERT 4L на зразках, вирізаних з тріфоподібних проб.

Для встановлення взаємозв'язку між показниками механічних властивостей, а також між механічними властивостями та кількістю легуючих компонентів олов'яно-алюмінієвих бронз використовували наступний комплексний показник (K_x):

$$K_x = \frac{Al}{(0,01 + Al + Sn)^{0,25}} + \frac{Sn}{(0,01 + Al + Sn)^{0,0001}} \quad (17)$$

де Al, Sn - масовий вміст алюмінію та олова в бронзі, відповідно, %.

За результатами визначення механічних властивостей досліджуваних бронз з використанням комп'ютерної програми EXEL будували залежності між показниками механічних властивостей та механічними властивостями і показником їх хімічного складу K_x .

Результати досліджень. Результати експериментального визначення хімічного складу, механічних властивостей міді та бронз, що містять до 7,53% (мас.) Al та до 6,73% (мас.) Sn, а також розрахункових значень параметра K_x наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Хімічний склад, значення параметра K_x і механічні властивості міді технічної чистоти та бронз

п/п	Вміст елементів, % (за масою)					K_x	Механічні властивості				
	Al	Sn	Si	Fe	Cu		δ_5 , %	Ψ , %	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B , МПа	КСУ, Дж/см ²
1	0,00	0,00	0,02	0,02	99,9	0,00	49	71	78	217	197
2	1,02	1,30	0,00	0,11	97,5	2,13	44	60	57	155	182
3	3,11	1,42	0,00	0,13	95,3	3,55	37	54	93	233	172
4	1,47	3,30	0,00	0,11	95,1	4,29	33,4	45	127	283	150
5	7,53	0,00	0,08	0,10	92,2	4,54	35	47	107	282	137

6	6,01	1,02	0,02	0,11	92,8	4,71	33	45	127	315	124
7	6,32	1,37	0,28	0,12	91,9	5,16	27,3	34,8	107	242	105
8	3,87	3,86	0,18	0,11	91,9	6,18	21	27	124	232	68
9	0,00	6,73	0,00	0,11	93,6	6,73	17,8	22	133	253	49
10	4,18	4,46	0,16	0,09	91,1	6,90	17	21,5	98	195	45
11	2,66	5,68	0,00	0,10	91,5	7,24	17,1	21	151	310	40
12	4,69	4,98	0,14	0,038	89,62	7,64	13,1	16,5	155	270	28
13	2,31	6,76	0,21	0,11	90,6	8,09	12,4	15	142	275	22

Результати обробки даних табл. 2 у програмі Excel на персональному комп'ютері представлені у вигляді відповідних залежностей на рис. 1.

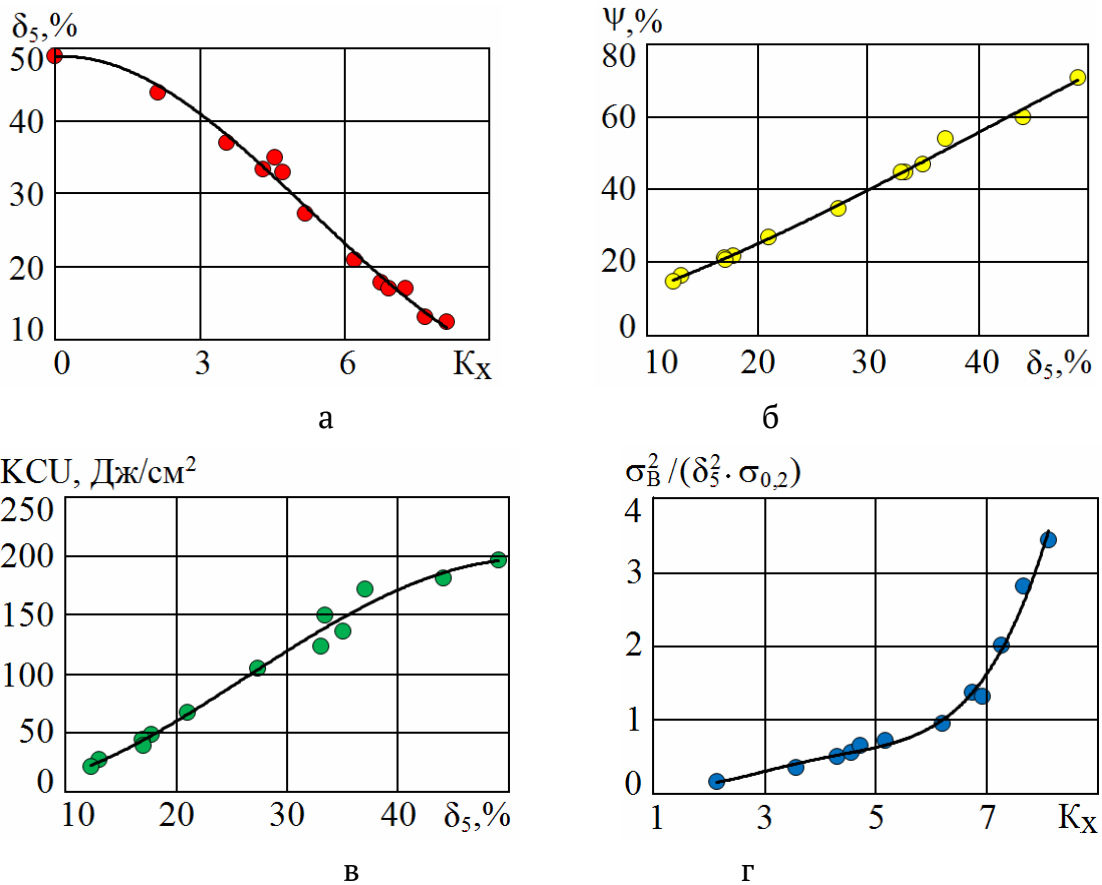


Рисунок 1 – Залежності між показниками механічних властивостей:

а – $\delta_5 = f(K_x)$; б – $\psi = f(\delta_5)$; в – $KCU = f(\delta_5)$;

$$\text{г} - \frac{\sigma_B^2}{\delta_5^2 \cdot \sigma_{0,2}} = f(K_x)$$

Рівняння регресії залежностей, представлених на рис. 1, а також величини достовірності апроксимації (R^2), розраховані за програмою Excel, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Рівняння регресії залежностей на рис. 1

Залежність	Рівняння регресії	R^2
$\delta_{5^*} = f(K_x)$	$y = 48,7179 + 0,56628 \cdot x - 1,2898 \cdot x^2 + 0,0808 \cdot x^3$	0,989
$\psi = f(\delta_{5^*})$	$y = 2,6942 + 0,79518 \cdot x + 0,01976 \cdot x^2 - 0,00016 \cdot x^3$	0,996
$KCU = f(\delta_{5^*})$	$y = 10,8396 - 2,58818 \cdot x + 0,35254 \cdot x^2 - 0,00532 \cdot x^3 + 0,00002 \cdot x^4$	0,986
$\frac{\sigma_B^2}{\delta_5^2 \cdot \sigma_{0,2}} = f(K_x)$	$y = 0,84889 - 1,11644 \cdot x + 0,57222 \cdot x^2 - 0,10845 \cdot x^3 + 0,00741 \cdot x^4$	0,988

Аналіз даних табл. 3 показує, що між показниками механічних властивостей та комплексним показником хімічного складу системи Cu-Al-Sn, яка досліджується, існує достатньо щільний зв'язок, про що свідчать високі значення величин достовірності апроксимації (R^2).

При цьому, величини δ_5 , ψ та KCU можливо визначити безпосередньо за рівняннями регресії (див. табл. 3) та за допомогою комплексного показника K_x , який розраховують за формулою (17).

Що до величин σ_B та $\sigma_{0,2}$, то їх при вмісті алюмінію та олова від 3 до 4% та кремнію і заліза до 0,2% рекомендується розраховувати за емпіричними формулами:

$$\sigma_B = 0,9367 \cdot Cu + 23,19 \cdot Al + 46,95 \cdot Sn - 51,59 \cdot Si + 53,87 \cdot Fe, \quad (18)$$

$$\sigma_{0,2} = -0,2603 \cdot Cu + 23,29 \cdot Al + 27,75 \cdot Sn + 6,975 \cdot Si - 65,56 \cdot Fe, \quad (19)$$

де Cu, Al, Sn, Si, Fe - масовий вміст хімічних елементів у бронзі, %.

Результати перевірки адекватності отриманих математичних моделей для δ_5 , ψ і KCU, що наведені в табл. 3 та за формулою (17), оцінювали за величиною абсолютної похибки між експериментальними та розрахунковими даними, що представлені в табл. 4 та табл.5.

Таблиця 4

Похибка між розрахунковими та експериментальними даними для δ_5 , ψ і КСУ

Вміст, % (мас.)		K _x	δ_5 , %		пох. (δ_5), %	ψ , %		пох. (ψ), %	КСУ, %		пох. (КСУ), %
Al	Sn		експ.	розр.		експ.	розр.		експ.	розр.	
0	0	0	49	48,7	0,7	71	67,7	4,7	197	195	0,9
1,02	1,3	2,13	44	45,0	-2,2	60	62,0	-3,3	182	189	-3,6
3,11	1,42	3,55	37	38,1	-3,0	54	51,6	4,4	172	163	5,1
1,47	3,3	4,29	33,4	33,7	-1,0	45	45,1	-0,3	150	141	6,1
7,53	0	4,54	35	32,2	8,0	47	42,9	8,8	137	132	3,5
6,01	1,02	4,71	33	31,1	5,7	45	41,3	8,2	124	126	-1,6
6,32	1,37	5,16	27,3	28,3	-3,5	34,8	37,2	-6,8	105	109	-3,8
3,87	3,86	6,18	21	21,8	-3,7	27	28,0	-3,7	68	70	-3,3
0	6,73	6,73	17,8	18,4	-3,5	22	23,4	-6,3	49	52	-5,2
4,18	4,46	6,9	17	17,4	-2,6	21,5	22,0	-2,5	45	46	-2,9
2,66	5,68	7,24	17,1	15,5	9,2	21	19,4	7,5	40	37	8,0
4,69	4,98	7,64	13,1	13,4	-2,6	16,5	16,6	-0,6	28	27	2,6
2,31	6,76	8,09	12,4	11,3	8,8	15	13,7	8,4	22	19	14,3

Таблиця 5

Похибка між розрахунковими та експериментальними даними для σ_B та $\sigma_{0,2}$

п/п	Вміст елементів, % (за масою)					σ_B , МПа		пох. (σ_B), %	$\sigma_{0,2}$, МПа		пох. ($\sigma_{0,2}$), %
	Al	Sn	Si	Fe	Cu	експ.	розр.		експ.	розр.	
1	3,01	3,92	0,04	0,12	99,9	282	289	-2,5	126	131	-3,9
2	3,14	3,77	0,10	0,20	97,5	352	342	2,7	148	141	4,6
3	3,31	4,00	0,20	0,20	95,3	359	351	2,1	153	152	0,4
4	3,47	3,32	0,02	0,11	95,1	325	328	-1,1	140	142	-1,2
5	3,53	3,50	0,18	0,07	92,2	314	324	-3,1	155	156	-0,9
6	3,25	3,02	0,10	0,15	92,8	337	331	1,9	144	140	2,8
7	3,98	4,00	0,02	0,03	91,9	352	360	-2,3	185	179	3,3

Висновки. За результатами виконаних досліджень вперше встановлено взаємозв'язки між механічними властивостями литої олов'яно-алюмінієвої бронзи, що на етапі проектування бронзи системи Cu-Sn-Al, у зазначених вище межах, зміни співвідношення кількості легуючих елементів дозволяє проводити прогнозування рівня її механічних властивостей при заливанні бронзи в суху піщано-рідкоскляну форму.

Відхилення між експериментальними та розрахунковими даними механічних властивостей пояснюються певним впливом домішок (Si, Fe) у сплавах, що потребує додаткових досліджень, а також усередненням величин механічних властивостей сплавів зумовлених точністю використаної апаратури, вимірювального інструменту та присутністю в досліджуваних зразках деяких ливарних дефектів структури.

В цілому, похибка між експериментальними та розрахунковими даними, як правило, менша 10% для δ_5 , ψ , KCU і менша 5% для σ_B і $\sigma_{0,2}$ є не значною, що дає підставу рекомендувати отримані залежності для проведення інженерних розрахунків з метою прогнозування механічних властивостей (δ_5 , ψ , KCU) сплавів системи Cu-Sn-Al при вмісті олова та алюмінію до 6%, а також для прогнозування механічних властивостей бронзи БрО3А3 при вмісті Al і Sn 3...4% та Si і Fe до 0,2% (кожного).

ЛІТЕРАТУРА

1. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А.Бабушкина, А.М. Брагатовский и др.; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. Москва : Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
2. Методы исследования материалов / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев и др. Москва : Мир, 2004. 161 с.
3. Ефименко Л.А., Коновалова О.А., Камардинин В.П. и др. Оценка фактических параметров металла технических объектов нефтегазового комплекса. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1999. №4. С.35-36.
4. Определение твердости по Бринеллю. URL: https://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=2ba&page_id=1053, (дата звернення: 12.05.2022).
5. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. Москва : Metallurgia, 1981. 648 с.
6. Славский Ю.И., Артемьев Ю.Г. Твердость стали, как функция ее прочностного и структурного состояния. Заводская лаборатория. 1989. № 5. С. 88-91.

7. Шишкин А.В. Электротехническое металловедение: учебное пособие. Новосибирск : Из-во НГТУ, 1997. 45 с.
8. Ефименко Л. А., Прыгаев А.К. Определение фактических механических свойств металла трубопроводов на основе измерения твердости : учебное пособие. Москва : РГУ нефти и газа, 2007.
9. Зависимость между напряжением текучести и пределом прочности URL : <https://metrotest.ru/article/vzaimosvyaz-napryazheniya-tekuchesti-s-tverdostyu-i-predelom-prochnosti> (дата звернення: 12.05.2022).
10. Леонов В.В., Никифоров А.Г., Ковалева А.А. Выявление корреляционных взаимосвязей между физическими свойствами алюминиевых сплавов. FUNDAMENTAL RESEARCH. № 7, 2017. С. 44-48.
11. Репях С. И. Температура перехода из пластичного в упругое состояние литого материала при охлаждении в форме. Литьё Украины. 2015. № 9. С. 8–13.
12. Репях С.И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. Днепрпетровск : Лира, 2006. 1056 с.
13. ISO 148-1:2016. Metallic materials. – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method. [Third edition 2016-10-15] 2016. 29 pp. (International standard).
14. ДСТУ ISO 6892-1:2019 Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (ISO 6892-1:2016, IDT). [Чинний від 2019-11-01]. Держспоживстандарт України, 2019. 40 с.

REFERENCES

1. Fizicheskie velichiny: Spravochnik [Physical Quantities: Handbook] / A.P. Babichev, N.A. Babushkina, A.M. Bratkovskij i dr.; pod red. I.S. Grigor'eva, E.Z. Mejlianova. Moskva : Energoatomizdat, 1991. 1232 p. (in Russian).
2. Metody issledovaniya materialov [Materials research methods] / L.I. Tushinskij, A.V. Plovov, A.O. Tokarev i dr. Moskva : Mir, 2004. 161 p. (in Russian).
3. Efimenko L.A., Konovalova O.A., Kamardinin V.P. i dr. Ocenka fakticheskikh parametrov metalla tekhnicheskikh ob"ektov neftegazovogo kompleksa. [Estimation of the actual parameters of the metal of technical objects of the oil and gas complex] Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie [Chemical and oil and gas engineering]. 1999. №4. pp.35-36. (in Russian).
4. Opređenje tverdosti po Brinellyu [Determination of Brinell hardness]. URL : https://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=2ba&page_id=1053, (available from: 15.05.2022). (in Russian).
5. Tylkin M.A. Spravochnik termista remontnoj sluzhby [Thermist's Handbook for Repair Service]. Moskva : Metallurgiya, 1981. 648 p. (in Russian).

6. Slavskij YU.I., Artem'ev YU.G. Tverdost' stali, kak funkciya ee prochnostnogo i strukturnogo sostoyaniya [The hardness of steel as a function of its strength and structural state]. Zavodskaya laboratoriya [Factory laboratory]. 1989. № 5. pp. 88-91. (in Russian).
7. Shishkin A.V. Elektrotekhnicheskoe metallovedenie: uchebnoe posobie [Electrotechnical metallurgy: a tutorial]. Novosibirsk : Iz-vo NGTU, 1997. 45 p. (in Russian).
8. Efimenko L. A., Prygaev A.K. Opredelenie fakticheskikh mekhanicheskikh svojstv metalla truboprovodov na osnove izmereniya tverdosti : uchebnoe posobie [Determination of the actual mechanical properties of pipeline metal based on hardness measurements: a tutorial]. Moskva : RGU nefi i gaza, 2007. (in Russian).
9. Zavisimost' mezhdru napryazheniem tekuchesti i predelom prochnosti [Relationship between yield stress and tensile strength]. URL : <https://metrotest.ru/article/vzaimosvyaz-napryazheniya-tekuchesti-s-tverdostyu-i-predelom-prochnosti> (available from: 14.05.2022). (in Russian).
10. Leonov V.V., Nikiforov A.G., Kovaleva A.A. Vyyavlenie korrelyacionnyh vzaimosvyazej mezhdru fizicheskimi svojstvami alyuminievyh splavov [Identification of correlation relationships between the physical properties of aluminum alloys]. FUNDAMENTAL RESEARCH. № 7, 2017. pp. 44-48.
11. Repyah S. I. Temperatura perekhoda iz plastichnogo v uprugoe sostoyanie litogo materiala pri ohlazhdenii v forme [The temperature of the transition from the plastic to the elastic state of the cast material during cooling in the mold]. Lit'yo Ukrainy [Casting of Ukraine]. 2015. № 9. pp. 8–13. (in Ukraine).
12. Repyah S.I. Tekhnologicheskie osnovy lit'ya po vyplavyaemym modelyam [Technological foundations of investment casting]. Dnepropetrovsk : Lira,2006. 1056 p. (in Ukraine)
13. ISO 148-1:2016.Metallic materials. – Charpy pendulum impact test – Part 1: Test method. [Third edition 2016-10-15] 2016. 29 pp. (International standard).
14. DSTU ISO 6892-1:2019 Metalevi materiali. Viprobuvannya na roztyag. Chastina 1. Metod viprobuvannya za kimnatnoï temperaturi [Metallic materials. Tensile tests. Part 1. Test method at room temperature] (ISO 6892-1:2016, IDT). [Chinnij vid 2019-11-01]. Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2019. 40 p. (in Ukraine).

Received 12.04.2022.

Accepted 15.04.2022.

**Functional dependences between indicators of mechanical properties
and tin-aluminum bronze chemical composition**

Abstract. Problem statement. Statistically significant relationships establishing between cast tin-aluminum bronze properties, as well as between bronze properties and its chemical composition will predict the level of its mechanical properties when poured into dry sand-sodium-silicate mold. Purpose. Functional relationships determination between mechanical properties of tin-aluminum bronze with tin and aluminum content of up to 6% each. Material and methods. Alloys for investigation have been prepared by melting of technical purity primary charge materials in crucible induction furnace using graphite crucible and charcoal as coating material. Studied alloys mechanical properties have been calculated based on experimental samples tests results during their static expansion and impact bending at room temperature in accordance with actual standards. Alloys chemical composition control has been carried out using precision analyzer EXPERT 4L on samples cut from club-shaped samples. Relationships between mechanical properties indicators, as well as mechanical properties and alloys chemical composition have been built using EXEL computer program. Results and discussion. According to Cu-Sn-Al alloys examination results, functional dependences between mechanical properties and Sn and Al content from 1 to 6% by weight of each have been established. This makes it possible to predict mechanical properties level according to chemical composition of such bronze during casting. Conclusions. For the first time, relationships between cast tin-aluminum bronze mechanical properties have been established. This is at the stage of Cu-Sn-Al system bronze designing, with tin and aluminum up to 6% each content, allows predicting its mechanical properties level when pouring bronze in dry sand-sodium-silicate mold.

Key words: bronze; mechanical properties; alloying elements; functional dependencies; complex indicator.

Кімстач Тетяна Володимирівна – старший викладач кафедри матеріалознавства та термічної обробки металів Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Україна.

Узлов Костянтин Іванович – д.т.н., професор кафедри матеріалознавства та термічної обробки металів Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Україна.

Реп'ях Сергій Іванович – д.т.н., професор кафедри ливарного виробництва Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Україна.

Солоненко Людмила Ігорівна – к.т.н., доцент кафедри ливарного виробництва Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Україна.

Осіпенко Ірина Олександрівна – к.т.н., доцент кафедри ливарного виробництва Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій, Україна.

Kimstach Tetiana Volodymyrivna – Senior Instructor of the Department of Material Science and Heat Treatment of Metals, Ukrainian State University of Science and Technology, Institute of Industrial and Business Technologies. Ukraine.

Uzlov Konstantin Ivanovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Material Science and Heat Treatment of Metals, Ukrainian State University of Science and Technology, Institute of Industrial and Business Technologies. Ukraine.

Repyakh Sergei Ivanovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Foundry, Ukrainian State University of Science and Technology, Institute of Industrial and Business Technologies. Ukraine.

Solonenko Lyudmila Igorivna – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. of the Department of Foundry, Ukrainian State University of Science and Technology, Institute of Industrial and Business Technologies. Ukraine.

Osipenko Iryna Oleksandrivna – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. of the Department of Foundry, Ukrainian State University of Science and Technology, Institute of Industrial and Business Technologies. Ukraine.

A. Dymchenko, S. Klymenko, O. Kulyk

COMBINED SYSTEM OF AUTONOMOUS CONTROL AND ORIENTATION OF MOVEMENT OF THE OBJECT IN 3D SPACE

Abstract. The paper presents an analysis of the developments of the "Rocketry Agency Student Rocket" project and identifies the main research directions for the development of this project. Prospects for the development of a research student project are the task of developing suborbital rockets with a flight altitude of 80, 100 or more kilometers. Flights to such altitudes are impossible without the use of monitoring and control systems, so an essential and high-priority task is development of a flight monitoring and control system for suborbital rockets with taking into account the caliber of the D-150 and D-300 launch vehicles. The analysis of modern monitoring and control systems has been carried out, the advantages and disadvantages of these systems have been determined. The most attractive for use for suborbital rockets with the given caliber are autonomous guidance and television guidance systems. It is determined that the use of such control systems is impossible, both in terms of the dimensions of the design itself, and the price category of the system as a whole. A new combined system of autonomous control and orientation of movement of volume in space, which is built on a combination of capabilities of television, inertial and mechanical systems, has been developed. regarding the determination and maintenance of the main vertical of the flight path of a suborbital rocket with a given caliber of the D-150 and D-300 launch vehicles.

Keywords: automatic control systems, aircraft, suborbital rocket, optical sensors, microcontroller, inertial systems, software algorithms.

Introduction. To date, there are many tasks where an accurate assessment of the position of the physical body (object) in space is required. Starting with ships and airplanes, robotics, car safety, and ending with the creation of augmented reality, where the assessment of the movement and orientation of the observer is necessary for the correct display of virtual objects in relation to him or her. The use of various instruments and technical measuring devices is an integral part for assessing the position of the object in space. The development of systems and intelligent control is a relevant topic, due to the constant progress in the development of electronic components. Development of electronic components tends to miniaturization; in addition, microelectromechanical technologies are characterized by low mass, size,

low electric power consumption, as well as high demand and low cost. All this is the driving force of technological progress and, accordingly, the development of automatic and intelligent control systems. The scope of application of modern radio electronics in control systems is extremely wide: the creation of strapdown inertial navigation systems (SINS), the creation of new stabilization, orientation and navigation systems, the possibility of improving unmanned aerial vehicles, autonomous robots, etc. It should be noted that, despite a number of advantages, microelectromechanical devices are not highly accurate, this is due to the accumulation of errors during integration. The inertial measurement module (IMM) of the strapdown inertial navigation system (SINS) performs the task of determining the angular velocities and linear accelerations of a moving object in a given coordinate system. As a result of algorithmic processing of signals received from IMM and SINS, parametric signals are formed that contain information about navigation parameters of the moving object (roll, pitch, velocity). Due to the errors inherent in modern digital meters, as well as errors caused by the digital processing of received signals (integration, etc.) performed by the computing core, errors in determining the orientation parameters tend to accumulate. Therefore, this topic is very relevant in the creation of rocket and spacecraft, namely in the development of information and measuring technologies for monitoring, controlling and orienting an object in space.

On the basis of the Faculty of Physics and Technology of Oles Honchar Dnipro National University, since 2018, the project "Student Rocket" of the "Rocketry Agency" has been operating at the initiative of an international entrepreneur in the field of space technologies Maxim Polyakov to increase the level of practical training of highly qualified specialists for the rocket and space industry of Ukraine.



Figure 1 - pad of the test site of Pavlograd Mechanical Plant

This project forms a scientific research ecosystem that not only involve students and mentors, but also has the necessary financial, technical and technological support from the Public Organization "Association Noosphere", the National Center for Aerospace Education of Youth named after A.M. Makarov, the State Enterprise "Southern Machine-Building Plant named after A.M. Makarov" (Yuzhmash), Pavlograd Plant, R&D Flight Control, etc. To date, this project continues its development in the direction of creating suborbital rockets. Ultralight rockets with flight altitudes of 2 and 7 km have been designed and developed, and ultralight suborbital rockets with flight altitudes of 20 and 40 km have been developed and worked out. Research work in the student project has different directions, for example, studies of possible applications of suborbital launch vehicles, their main characteristics and the use of such rockets [1-7]; particularities of the development of solid fuel engines [8-10]; rocket fuel research [11]; studies of experimental measurements of statistical quantities [12]; research in the field of non-destructive testing of rocket and space objects [13, 14] and others. Fig.2 shows a photograph of ultralight rockets worked out at the test site of the Pavlograd Mechanical Plant.



Figure 2 - Ultralight rockets at the noosphere Engineering School Space laboratory that have been worked out at the test site of the Pavlograd Mechanical Plant

The plans for the development of the research student project "Rocketry Agency" include the development of suborbital rockets with flight altitudes of 80 km, 100 km, or more. For flights to such altitudes, one of the urgent and priority tasks is the development of flight monitoring and control systems.

Problem Formulation. The development of a rocket monitoring and control system is an integral part of the entire design project, so it is impossible not to take into account the design features of the rocket, namely the mass and size characteristics, and of course it is necessary to take into account the capabilities of launch vehicles for delivering the payload to different altitudes. In the student project "Rocketry Agency", as mentioned above, the general task of creating suborbital rockets with flight altitudes of 80 km or more is considered, which means that the diameter of the body of the launch vehicle will increase significantly and, accordingly, tasks regarding the development of new rocket engines and control systems for new generations of rocket technology of this project will be relevant. In this paper, we will dwell on the review of existing modern approaches to the intelligent control systems of suborbital rockets, taking into account the caliber of the D-150 and D-300 launch vehicle, the use of which allows reaching flight altitudes of over a hundred kilometers. Modern composite materials and new approaches to innovative types of fuel make it possible to manufacture a rocket engine with small mass and size characteristics, but at the same time having an increased specific impulse and operational output power. It is this ratio of mass and power that makes it possible to create launch vehicles of the D-150 and D-300 caliber (the diameter of the body of the launch vehicle). The caliber of the D-150 launch vehicle can deliver a payload weighing up to 300 grams. at altitudes of up to 150 km, and the D-300 launch vehicle, a payload weighing up to 3 kg. Thus, modern technologies used to create small rockets and spacecraft opens a way to reach the heights of low-Earth orbits in the future.

High output power of the engine and huge g-force values at launch lead to the possibility of instant destabilization of the angular attitude of the rocket body. This behavior of the launch vehicle, designers try to compensate by the aerodynamic stability characteristics, but this approach does not ensure full control of the attitude of the launch vehicle (compensation for wind loads) throughout the flight path (to ensure maximum altitude, a straight vertical line at the point of launch is chosen as the main trajectory). It is wind loads that are the strongest obstacle for unguided launch vehicles of this caliber in the process of reaching maximum altitudes. To compensate for them, it is necessary to install high-speed automatic orientation and flight control systems.

Most commonly, aerodynamic rudders are used as control actuators. At high starting speeds and extremely short flight times, the control algorithm reduces to a guidance algorithm. Guidance is the process of changing the trajectory of a guided rocket aimed at reducing the distance between it and the guidance point [15]. The

motion of a flying vehicle while maintaining minimum deviation from the trajectory is called a flight. In the process of guiding the rocket, the control signals are generated in different ways, but recently the control is based on the predicted value of the current flight – the accuracy of guidance, built taking into account the hypothesis of the movement of the target. In the assumption of the straightness of the motion of the target, the current flight is a vector perpendicular to the tangent to the trajectory of the rocket relative to the point of guidance and equal in its absolute value to the distance from the point to the tangent.

The difference between the real behavior of the launch vehicle and its behavior according to the hypothesis, taking into account the external disturbance acting directly on the launch vehicle and interfering with the exact reproduction of the given control, leads to the need to build a closed automatic control system that uses the current flight as a regulation error.

Random errors in measuring the current flight suggest the development of modern guidance systems taking into account the statistical assessment of the measured values [12]. Thus, the guidance process consists in measuring the relative coordinates of the rocket and the target, statistically assessing the current flight, forming a given control on it and reproducing the latter by the rocket. In practice, it is convenient to replace the estimation of the current flight with the estimation of some quantities associated with it by a linear operator, for example, an assessment of the angular velocity of the rocket-target line, linear mismatch, etc.

Thus, in order to solve the formulated problem, it is necessary to analyze modern monitoring and control systems, taking into account the parameters of suborbital rockets with the caliber of D-150 and D-300 launch vehicles.

Autonomous guidance systems. There are autonomous guidance and tele-guidance systems. Autonomous guidance systems differ in that the coordinates of the end point are determined in advance and in the guidance process, only measurements of the absolute coordinates of the launch vehicle are used to compensate for initial errors and current disturbances. In homing systems, the relative coordinates of the end point are measured by a device installed directly on board the rocket - on-board measuring equipment.

In tele-guidance systems, the absolute or relative coordinates of the launch vehicle and the end point are measured either from some remote point (ground station, telecommand and telemetry point) or directly from the body of the launch vehicle itself using an external reference center. According to the obtained data, the current flight is evaluated and a signal is formed, which is either transmitted

through the communication line as a given control to the launch vehicle from the ground center, or calculated directly on the launch vehicle itself.

Each of the above systems has its advantages and disadvantages, but for D-150 and D-300 caliber launch vehicles, it is reasonable to use the following types of systems: an autonomous control system (CS) or a tele-guidance CS.

Types of autonomous guidance systems of the guidance system:

a) Autonomous gyroscopic systems - systems based on the property of the gyroscope to maintain its position in space. Therefore, it is possible to build a reference coordinate system, relative to which the angular deviations of the rocket are measured. With the help of signals of deviation of pitch, yaw and roll angles, it is possible to both stabilize them and control them with the help of special software.

b) Autonomous inertial systems. Acceleration sensors are positioned in such a way that their sensitivity axes coincide with the measuring reference system (RS). By integrating, it is possible to find the magnitude of the velocity and the distance traveled in any direction. The trajectory is laid in the basis RS, therefore, to determine the current value of the coordinates, it is necessary to combine the measuring RS with the basis RS.

The advantage of such systems is that both systems measure angles or linear coordinates regardless of external disturbances (wind). But such systems also have drawbacks, such as the accumulation of errors over time due to the deviations of gyroscopes and errors of linear acceleration sensors. This disadvantage is especially affected by integration, that is, when determining linear movements.

c) Autonomous astronavigation systems infer the location of the object by measuring the angles of two celestial objects from the location of the aircraft (AIRCRAFT). The Sun, stars, Moon, Earth can be used as celestial objects. Thus, the aircraft should have two autonomous sextants located on a gyro-stabilized platform, the measurements from which coincide with the basis CS.

The advantages of such systems include the fact that the accuracy of measurements made with sextants does not depend on the guidance time. But there is a drawback to such systems, namely, the accuracy of measurement decreases in the case of a short guidance time.

d) Autonomous electro- or magnetometric systems make it possible to determine guidance by the physical parameters of the medium (magnetic, electric and gravitational fields of the earth). Partially and in a simplified form, these systems are used in aviation.

The advantage of such systems is that their accuracy of measurement does not depend on the guidance time. Their disadvantage is that the very parameters of the Earth's fields that are used for measurement, are not stable and depend on the perturbations on the Sun.

e) Autonomous correlation systems have recently become widespread. The principle of operation of such a system is that a representation or a map of the terrain around the target or under the entire flight route is preinstalled in the computing device. Then, during the flight, one or another method (radar, television, infrared beams or laser beams) is used to determine the contour or map of the area above which the aircraft currently is located. By comparing the preinstalled and acquired contours, the deviation of the aircraft from the specified route is determined and the aircraft is controlled in such a way that both contours coincided.

f) Strapdown inertial measurement systems (SIMS). The gyro stabilized platform (GSP), which protects accelerometers from the influence of angular movements of the object, has a number of drawbacks: being a precision electromechanical device, it is unreliable, consumes a lot of energy, has a large mass and dimensions, is expensive and its assembling is labor-intensive. Another way to build an inertial navigation system is to place accelerometers and gyroscopes directly on board a mobile object, and to assign the functions of the GSP to an on-board computing device. In the SIMS, the sensing elements are accelerometers and meters of attitude parameter (gyroscopes). They can be built on different physical principles. At the same time, the number of meters should be such as to provide information about the vector of proper acceleration of the point of the object in which the meters are mounted, and about the vector of absolute angular velocity characterizing rotation [4].

g) Autonomous combined systems. To improve the accuracy of guidance of autonomous systems, a combination of these systems is usually used. For example, a combination of inertial and astronavigation system. With the help of an inertial system, the speed is determined with a fairly high accuracy, but the path (or location) is determined with a big error; astronavigation system complements the inertial one by determining the location of the aircraft at some point in time with a higher accuracy. Note that almost all autonomous systems are combined systems. They are used in ballistic missiles, space launch vehicles and in space stations, and are also common in cruise missiles.

Remotely controlled guidance systems. Remote control is control at a distance by means of specially encoded control signals (radio, optical, audible, etc.). At

that, the power of the control signals is much smaller than the power of the processes they control. In remote-control systems, signals controlling the rocket can be generated either at the command post (CP), or on the rocket, or jointly at the CP and on the rocket. In the remote-control system, the following are distinguished: command post (CP); a rocket in the form of a controlled object (OC), a target tracking line (TTL) (a channel for receiving target data), a line for monitoring the control object (LMCO) (a channel for transmitting data on the flight of the rocket), a command line (CL) (a rocket control channel). Note that TTL, LMCO, LCC, LCOS and CL can be based on different physical principles.

There are two types of remote control, depending on the method of tracking the target. The first type of remote control, when the CP receives control information from the ground control station (Fig. 3). The second type of remote control is schematically presented in Fig. 4., when the ground control station receives information about the object from the sensors on the launch vehicle, and then sends control information to the vehicle. Marking in Figs. 3, 4 and 5: GCP – ground control point; FV – flying vehicle; TP – terminal point – the point at the end of the flight; TDL – target designation line – a channel for receiving data on the destination point, TMCL – telemetry line from the controlled object - a channel for transmitting data on the flight of the rocket, a telecommand line (TCL) - an aircraft control channel).

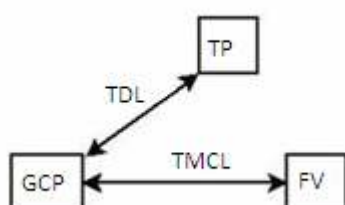


Figure 3 - Scheme of the first type of remote control

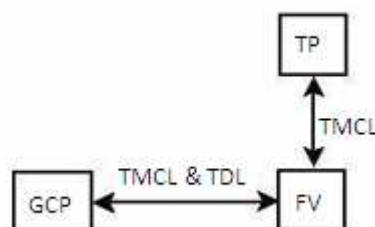


Figure 4 - Scheme of the second type of remote control

As a summary the results of the analysis, it can be concluded that for rockets of the D-150 and D-300 caliber, it is most optimal to use a combined control system, which is based on an autonomous remote control system and an autonomous inertial system.

Combined autonomous control system. When developing a combined autonomous control system, the principle of the capabilities of television, inertial and mechanical systems was used to determine and hold the main vertical of the

flight trajectory of the rocket. As the main system for monitoring the spatial position of the rocket, a system of optical digital cameras with serial data interfaces is used. Fig. 5 shows a diagram of a combined autonomous control system, where SINS is a strapdown inertial navigation system; OAPS is an optical automatic positioning system; MRACS is a mechanical rotation angle control system.

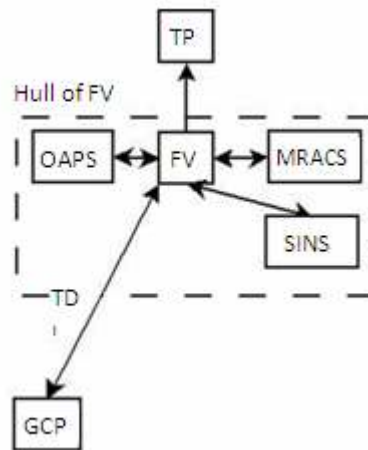


Figure 5 - Scheme of the combined autonomous control system

As a SINS, physically attached modules of accelerometers and gyroscopes (MEMS devices) of high accuracy at short time intervals will be used to correct the angle of inclination data obtained from the optical positioning system.

As a mechanical control system, a servo drive will be used, equipped with the necessary system of levers for obtaining the necessary forces to rotate the control aileron to the desired angle with a given accuracy.

Conclusions. In this paper, the features of rockets developed on the basis of the student project "Rocketry Agency" have been reviewed and the task of developing a system for determining and maintaining the main vertical of the flight path of the launch vehicle has been formulated. An analysis of the classical control and guidance schemes of low-orbit small-sized flying vehicle with rocket thrust has been carried out; the main advantages and disadvantages of such systems have been considered. The features of the existing control systems and the features of the use of such systems have been considered taking into account the characteristics and parameters of the launch vehicles of the student project, where the caliber of the launch vehicles is D-150 and D-300. The development of a combined automatic flight control system based on optical cameras with a parallel interface for information output, the use of an eight-bit controller and inertial position sensors is proposed. This method will reduce financial costs and required time owing to using ex-

isting imported inertial position measuring sensors, reduce the mass and overall parameters of the system as a whole and make it possible to build a modular structure for the unification of units. The use of microcontroller technology with a large number of control interfaces will increase the reliability of the automatic control system and will be suitable for controlling any actuators for controlling the spatial movement of a flying vehicle without making structural changes in the scheme of the resulting module. Software implementation makes it possible to use new algorithms based on the cheapest equipment and small-sized flying vehicles.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулик А.В. Оценка возможности применения суборбитальных ракет-носителей для выведения средств увода объектов космического мусора с низких околоземных орбит // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2020. – №4 (164). – С.60 – 65. DOI: 10.32620/aktt.2020.4.07
2. Kositsyna O. Determining energetic characteristics and selecting environmentally friendly components for solid rocket propellants at the early stages of design /Kositsyna, O., Varlan, K., Dron, M., Kulyk, O. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (114), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247233>
3. П.П. Афанасьев, А.М. Матвеев, Ю.М. Шустров 101 выдающийся летательный аппарат мира. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 316 л.
4. Добродомов А.А. Влияние алюминия и титана на свойства сталей применяемых в ракетно-космической технике / А.А. Добродомов, С.А. Полишко, // «Людина і космос» : міжнарод. наук. - практ. конф., 11-13 квіт. 2018 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2018. – С. 240.
5. Добродомов О.О., Конструктивні засоби зменшення хвильової складової лобового опору осесиметричних літальних апаратів / О.О. ипррпр, В.Ю. Шевцов // «Людина і космос» : міжнарод. наук.- практ. конф., 10-12 квіт. 2019 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2019. – С. 192.
6. Пророка В. А. Особенности проектирования малых исследовательских ракет / В.А. Пророка, О.О. Добродомов, І.В. Білоцерковский, В.А. Солнцев // «Людина і космос» : міжнарод. наук.- практ. конф., 16-18 вер. 2020 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2020. – С. 234.
7. Лук'яненко І.Г. Збільшення надійності конструкції бортової апаратури в суборбітальних ракетах надлегкого класу / І.Г. Лук'яненко, О.В. Кулик, В.А. Солнцев // «Людина і космос»: міжнарод. наук.-практ. конф., 14-14 квітня 2021 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2021. – С. 129
8. Добродомов О.О. Вибір конструкційних матеріалів та режимів їх обробки при конструюванні ракет надлегкого класу / О.О. Добродомов, І.І. Карпович //

«Людина і космос» : міжнарод. наук.- практ. конф., 10-12 квіт. 2019 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2019. – С. 191.

9. Білоцерковський І.В. Способи герметизації баків із композитних матеріалів / І.В. Білоцерковський, О.В. Кулик, В.А. Солнцев // «Людина і космос»: міжнарод. наук.-практ. конф., 14-14 квітня 2021 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2021. – С. 112.

10. Швець А.С. Особливості створення твердопаливних двигунів для суборбітальних ракет надлегкого класу / А.С. Швець, О.В. Кулик, В.А. Солнцев // «Людина і космос»: міжнарод. наук.-практ. конф., 14-14 квітня 2021 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2021. – С. 42.

11. Добродомов О.О. Дослідження процесів старіння твердого ракетного палива / О.О. Добродомов, О.В. Кулик, А.Ф. Санін // «Людина і космос»:

12. . наук.-практ. конф., 14-14 квітня 2021 р.: тези доповіді. – Д.: НЦАОМ, 2021. – С. 133

13. Клименко О.Д. Теоретичні дослідження вимірювань за допомогою функцій розподілу ймовірностей / О.Д. Клименко , Д.С. Астахов , С.В. Клименко / Вісник Дніпровського університету. Серія Ракетно-космічна техніка. Вісник РКТ. ДНУ, 2020. С. 152-157.

14. Кисельов П.Г., Клименко С.В., Кулик О.В. Ультразвуковий неруйнівний контроль якості виробів з полімерних композитних матеріалів ракетно-космічної техніки / П.Г. Кисельов, С.В. Клименко, О.В. Кулик / Системные технологии: региональный межвузовский сборник научных трудов. – Днепр. Системные технологии: НМетАУ.«Системні технології»3 (134) 2021 , С.135-148

15. Кулик О.В. Автоматизована система безконтактного ультразвукового неруйнівного контролю якості корпусів ракетних двигунів твердого палива з композиційних матеріалів / Кулик О.В., Желтов П.Н., Клименко С.В., Чабанов В.В.// Космічна наука і технологія. 2021. 27, № 3 (130). С. 76—84. DOI: 10.15407/knit 2021.03.076

16. Авиация: Энциклопедия. – М.: Большая Российская Энциклопедия. Главный редактор Г.П. Свищев. 1994 г.

17. Орлов Е.В. Проектирование систем телеуправления. – Ижевск: Удмуртский университет, 2000 г.

18. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – Спб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.

19. ГОСТ 24375-80. Межгосударственный стандарт. Радиосвязь. Термины и определения

20. В.А. Бухалев, «Обработка информации и управление ракет в условиях противодействия», 2009 г.

REFERENCES

1. Kulik A.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya suborbital'nykh raket-nositelei dlya vyvedeniya sredstv uvoda ob"ektov kosmicheskogo musora s nizkikh okolozemnykh orbit // *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. – 2020. – №4 (164). – S.60 – 65. DOI: 10.32620/aktt.2020.4.07
2. Kositsyna O. Determining energetic characteristics and selecting environmentally friendly components for solid rocket propellants at the early stages of design /Kositsyna, O., Varlan, K., Dron, M., Kulyk, O. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (114), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247233>
3. P.P. Afanas'ev, A.M. Matveenko, Yu.M. Shustrov 101 vydayushchiysya letatel'nyi apparat mira. – M.: Izd-vo MAI, 2001. – 316 l.
4. Dobrodomov A.A. Vliyanie alyuminiya i titana na svoistva stalei primenyaemykh v raketno-kosmicheskoi tekhnike / A.A. Dobrodomov, S.A. Polishko, // «Lyudina i kosmos» : mizhnarod. nauk. - prakt. konf., 11-13 kvit. 2018 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2018. – S. 240.
5. Dobrodomov O.O., Konstruktivni zasobi zmeshennya khvil'ovoï skladovoï lobo- vogo oporu osesimetricnikh lital'nikh aparativ / O.O. Dobrodomov, V.Yu. Shevtsov // «Lyudina i kosmos» : mizhnarod. nauk.- prakt. konf., 10-12 kvit. 2019 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2019. – S. 192.
6. Proroka V.A. Osobennosti proektirovaniya malykh issledovatel'skikh raket / V.A. Proroka, O.O. Dobrodomov, I.V. Bilotserkovskii, V.A. Solntsev // «Lyudina i kosmos»: mizhnarod. nauk.- prakt. konf., 16-18 ver. 2020 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2020. – S. 234.
7. Luk'yanenko I.G. Zbil'shennya nadiinosti konstruktsii bortovoï aparaturi v suborbital'nikh raketakh nadlegkogo klasu / I.G. Luk'yanenko, O.V. Kulyk, V.A. Solntsev // «Lyudina i kosmos»: mizhnarod. nauk.-prakt. konf., 14-14 kvitnya 2021 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2021. – S. 129
8. Dobrodomov O.O. Vibir konstruktsiynikh materialiv ta rezhimiv ikh obrobki pri konstruyuvanni raket nadlegkogo klassu / O.O. Dobrodomov, I.I. Karpovich // «Lyudina i kosmos» : mizhnarod. nauk.- prakt. konf., 10-12 kvit. 2019 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2019. – S. 191.
9. Bilotserkovs'kii I.V. Sposobi germetizatsii bakiv iz kompozitnikh materialiv / I.V. Bilotserkovs'kii, O.V. Kulyk, V.A. Solntsev // «Lyudina i kosmos»: mizhnarod. nauk.- prakt. konf., 14-14 kvitnya 2021 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2021. – S. 112.
10. Shvets'A.S. Osoblivosti stvorenniya tverdopalivnikh dviguniv dlya suborbital'nikh raket nadlegkogo klasu / A.S. Shvets', O.V. Kulyk, V.A. Solntsev // «Lyudina i kosmos»: mizhnarod. nauk.-prakt. konf., 14-14 kvitnya 2021 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2021. – S. 42.

11. Dobrodomov O.O. Doslidzhennya protsesiv starinnya tverdogo raketnogo paliva / O.O. Dobrodomov, O.V. Kulyk, A.F. Sanin // «Lyudina i kosmos»: mizhnarod. nauk.-prakt. konf., 14-14 kvitnya 2021 r.: tezi dopovidi. – D.: NTsAOM, 2021. – S. 133
12. Klymenko O.D. Teoretichni doslidzhennya vimiryuvan' za dopomogoyu funktsii rozpodilu imovirnostei / O.D. Klymenko , D.S. Astakhov , S.V. Klymenko / Visnik Dniprovs'kogo universitetu. Seriya Raketno-kosmichna tekhnika. Visnik RKT. DNU, 2020. S. 152-157.
13. Kisel'ov P.G., Klymenko S.V., Kulyk O.V. Ul'trazvukovii neruinivnii kontrol' yakosti virobiv z polimernikh kompozitnikh materialiv raketno-kosmichnoi tekhniki / P.G. Kisel'ov , S.V. Klymenko , O.V. Kulyk / Sistemnye tekhnologii: regional'nyi mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov. – Dnipro. Sistemnye tekhnologii: NMetAU.«Sistemni tekhnologii»3 (134) 2021, S.135-148
14. Kulyk O.V. Avtomatizovana sistema bezkontaktnogo ul'trazvukovogo neruinivnogo kontrolyu yakosti korpusiv raketnikh dviguniv tverdogo paliva z kompozitsiynikh materialiv / Kulyk O.V., Zheltov P.N., Klymenko S.V., Chabanov V.V.// Kosmichna nauka i tekhnologiya. 2021. 27, № 3 (130). S. 76-84. DOI: 10.15407/knit 2021.03.076
15. Aviatsiya: Entsiklopediya. – M.: Bol'shaya Rossiiskaya Entsiklopediya. Glavnyi redaktor G.P. Svishchev. 1994 g.
16. Orlov E.V. Proektirovanie sistem teleupravleniya. – Izhevsk: Udmurtskii universitet, 2000 g.
17. Matveev V.V., Raspopov V.Ya. Osnovy postroeniya besplatformennykh inertsiyal'nykh navigatsionnykh sistem. – Spb.: GNTs RF OAO «Kontsern «TsNII «Elektro-pribor», 2009. – 280 s.
18. GOST 24375-80. Mezhhgosudarstvennyi standart. Radiosvyaz'. Terminy i opredeleniya
19. V.A. Bukhalev, «Obrabotka informatsii i upravlenie raket v usloviyakh protivodeistviya», 2009 g.

Received 13.04.2022.

Accepted 15.04.2022.

***Комбінована система автономного управління
та орієнтації переміщення об'єкту у просторі***

Анотація. У статті проведено аналіз розробок проєкту «Студентська ракета «Rocketry Agency» та визначені основні науково-дослідні напрями розвитку цього проєкту. Перспективи розвитку науково-дослідницького студентського проєкту є задача розробки суборбітальних ракет з висотою польоту 80, 100 та більше км. Польоти на такі висоти неможливі без застосування систем управління та контролю, тому стає актуальним та пріоритетним питання розробки системи контролю та управління польотом саме для суборбітальних

ракет з урахуванням калібру ракетносію Д-150 та Д-300. Проведено аналіз сучасних систем управління та контролю, визначені переваги та недоліки цих систем. Найбільш прийнятними для застосування для суборбітальних ракет з заданим калібром є системи автономного наведення та теленаведення. Визначено, що застосування таких систем управління неможливо, як з точки зору габаритів самої конструкції, так і цінової категорії системи в цілому. Розроблена нова комбінована система автономного управління та орієнтації переміщення об'єкту у просторі, яка побудована за принципом можливостей телевізійної, інерційної та механічної систем щодо визначення та утримання основної вертикалі траєкторії польоту суборбітальної ракети з заданим калібром ракетносію Д-150 та Д-300.

Ключові слова: системи автоматичного керування, літальні апарати, суборбітальна ракета, оптичні датчики, мікроконтролер, інерційні системи, програмні алгоритми.

Димченко Артем Вікторович – аспірант кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Клименко Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Кулик Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Dymchenko Artem – postgraduate student of the department of radioelectronics automated, faculty of physics and technical, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

Klymenko Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of radioelectronics automated, faculty of physics and technical, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

Kulyk Oleksii – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of production technology, faculty of physics and technical, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

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

ANALYSIS OF METHODOLOGIES FOR CARBON STOCK ESTIMATION IN FORESTS

Abstract. Current approaches to carbon stock estimation in forest ecosystems are discussed. Datasets containing biomass and carbon stock estimates that can be used for training/validation in machine learning are described. Examples of applying the remote approach to assessing forest biomass over large areas are analyzed. To estimate the forest carbon stocks in Ukraine, the most promising is the remote approach, which combines ground-based and satellite measurements for forest classification and statistical modeling of carbon stocks. For training and validation of machine learning algorithms, it is proposed to use the GEDI Biomass Map covering most of the territory of Ukraine — from the southern borders to the latitude of Chernihiv in the north. A prototype of forest biomass estimating product in Ukraine can be based on publicly available MODIS NBAR data, SRTM DEM, ECMWF climate data and use the Random Forest machine learning method.

Keywords: forest, carbon stock, aboveground biomass, satellite data, GEDI, ICESat-2.

Problem statement. Global climate warming, caused by the anthropogenic increase of greenhouse gas concentration in the atmosphere, especially carbon dioxide (CO₂), has resulted in increased interest to assessing the carbon cycle in various ecosystems. The forest's significance in the carbon dioxide content regulation makes relevant the problem of forest carbon stock estimation.

The **objective** of the research is to choose a methodology for estimating carbon stocks in the forest ecosystems of Ukraine. For this, it is necessary to consider methods of forest biomass and carbon stock estimating, determine available data that can be used in stock assessment, and analyze approaches to solving such tasks and problems that arise in their implementation.

Carbon pools and flows. Nowadays' methodologies for estimating forest ecosystem carbon stock are based on instructions of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC [1]. According to [1], all the forest organic matter flows form four carbon pools (Fig. 1):

- aboveground biomass (AGB), and belowground biomass (BGB);

- woody debris;
- litters;
- soil organic matter.

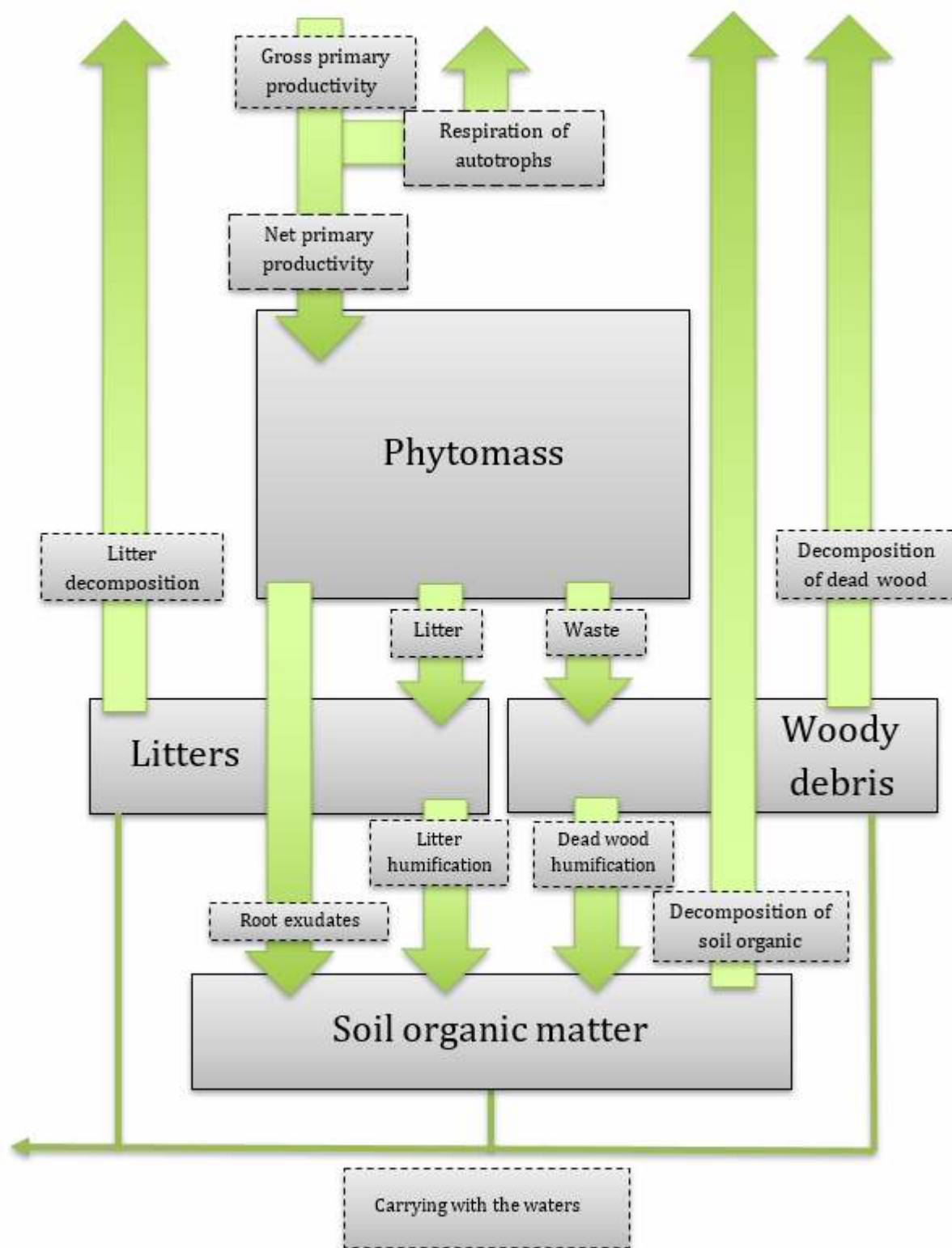


Figure 1 – Carbon pools and flows in forest ecosystems

If carbon pools increase in size, a CO₂ flow is created from the atmosphere; if the pools decrease, the greenhouse gas sources are formed.

During photosynthesis, atmospheric carbon dioxide is converted into organic matter. The total amount of organic matter formed during photosynthesis is called Gross Primary Productivity (GPP).

Part of this substance is decomposed during the plants' metabolism, while carbon dioxide is released into the atmosphere. This flow is called autotrophic respiration (Ra) and is estimated at 40–70% of GPP.

The difference between GPP and Ra characterizes the amount of organic matter replenishing the biomass pool and is called Net Primary Productivity (NPP). NPP can be determined in the field using weighting methods.

From the climate agreements follow the principles that should be taken into account when developing methods for assessing carbon [2]:

1. Of primary interest is the forest interaction with the atmosphere. That is, from all the flows, only the flows connecting forest carbon pools with the atmosphere are considered.

2. Sinks and sources of greenhouse gases in forests are subject to accounting and management, while the forest carbon stocks at the initial moment of management are not of particular significance.

3. Only sinks and sources of greenhouse gases resulted from human activities should be taken into account.

The carbon flows associated with each of the pools form the balance value determining the direction of pool change. The final estimate of the forest carbon balance can be obtained having determined the losses and subtracted them from carbon gains (Fig. 2). This approach called the flow balance method is recommended for use by the IPCC [1].

The carbon balance by biomass is most obvious. The young forest grows, its biomass, and hence carbon stocks, increase. A similar situation is observed for other carbon pools.

In old-growth forests, incoming and outward carbon flows usually balance out. The forest becomes carbon neutral with the atmosphere. The flow balance is the basis for the stable existence of an old-growth forest ecosystem. The fact that even in the case of a high photosynthetic runoff, old-growth forest is neutral in terms of carbon balance with the atmosphere, underlies most systems for regional assessment of forest carbon budget [2].

Thus, young forests have carbon increments in different pools, while in old-growth forests pools are stable. If the information on the forest's age structure and typical growth rates is available, it is possible to estimate the total pool increments in each region.

The second method recommended by IPCC — by stock difference — is used with consecutive information on carbon pools in forests. The annual carbon balance estimate is the stock difference between consecutive counts, referred to the interval duration between observations.

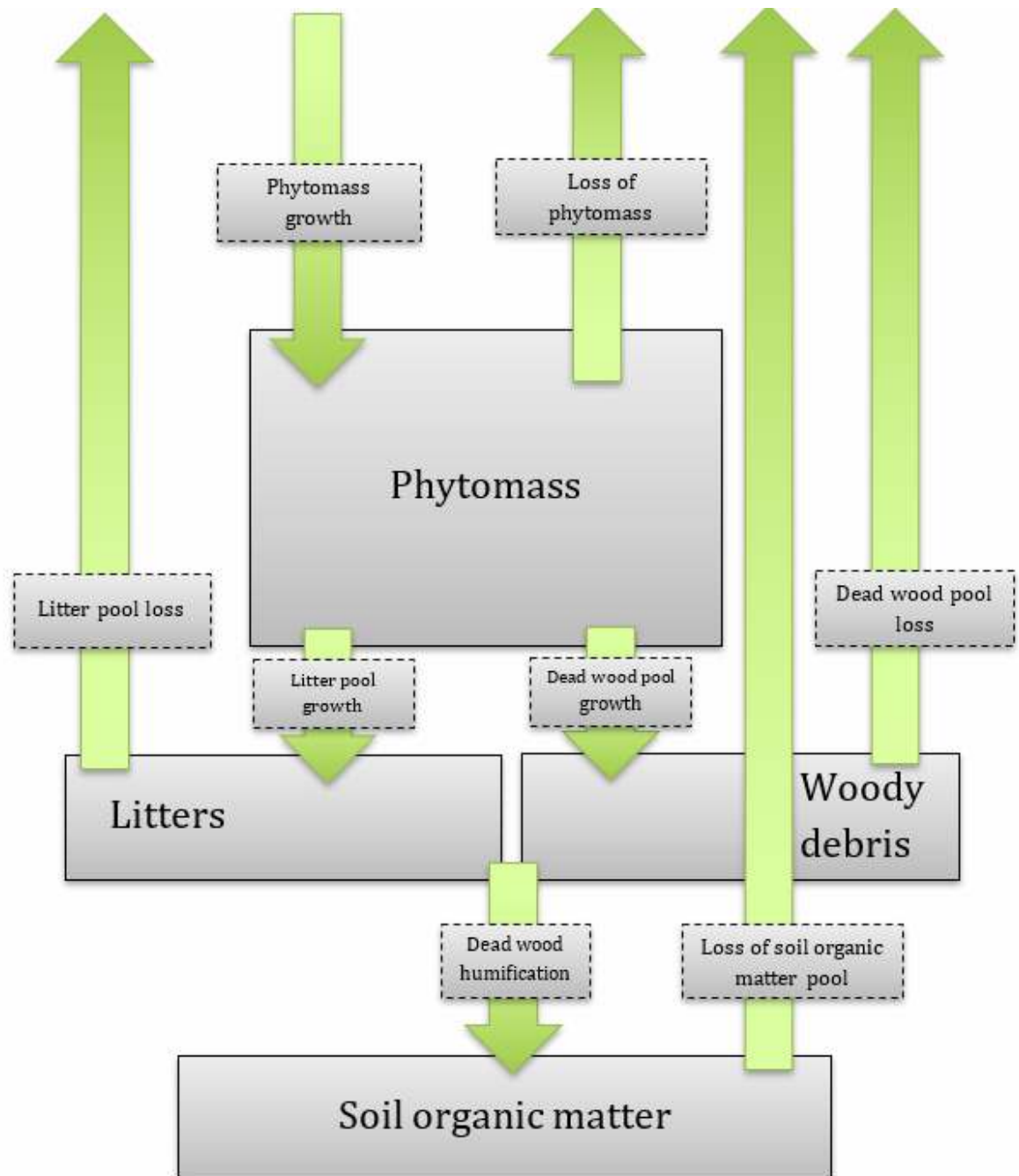


Figure 2 – Forest carbon budget flowchart

Approaches to carbon stocks estimation. Let's consider approaches to estimation carbon stocks, paying special attention to the use of remote sensing satellite data in these approaches. There are currently four basic approaches to a regional assessment of forest carbon stocks:

- cartographic;
- conversion;
- remote;
- model.

In the cartographic approach, forest polygons are first identified. Correspondences are then established between polygons and typical values of carbon stocks, which are calculated from local databases. The sum of polygon areas products by typical values gives the carbon stock estimate for study area [2]. Some countries have developed models based on variables describing forest plantations, such as tree species, plot indices, ecological regions, etc. [4]. Optical satellite data are actively used to classify forest plantations, and to identify homogeneous forest polygons. Cartographic models are the simplest among the models for estimating carbon stocks, providing relatively rough estimates [2]. Examples of using the cartographic approach are given in [8, 9]. Models that implement the cartographic approach are spatial stepwise regression based on expert estimates.

The conversion approach is applied to forest ecosystems and areas for which forest inventory information is available. This information includes volume wood stocks necessary for the economic assessment of forest resources. Volume wood stocks are converted to mass of organic matter or carbon using conversion factors. Such a conversion has a clear physical justification: volume is related to mass through density. The conversion factor allows estimating the stem wood carbon. Other biomass fractions (roots, branches, leaves) are functionally related to the trunk mass and are also included in the calculation of conversion coefficients [2]. Equations relating the biomass stock to the taxation characteristics of trees (height, trunk diameter, etc.) are called allometric equations. The most time-consuming part of the work is forest inventory, for which aircraft-based lidars are actively used. In addition, the allometric equations with selected coefficients should be used for each tree species. These equations are usually local, that is, they provide a good stock estimate only within a particular ecological region. A conversion approach to estimating forest biomass carbon stocks is recommended by the IPCC guideline [1]. However, it is very costly and labor-intensive. Optical satellite data (usually of high spa-

tial resolution) can be used to classify forests. The conversion approach models are power-law regressions on ground-based data.

The remote approach is a regression between predictors generated from satellite (optical and radar) and other data, trained on samples obtained during ground-based measurements (that is, as a result of the spot use of conversion approaches). In contrast to the cartographic approach, satellite data are used both for the homogeneous areas' allocation (classification or segmentation) and for regression in each pixel of the study area. The remote approach is less labor-intensive than the conversion approach since it requires less ground-based data. The training data sources for this approach will be discussed in the next section. An important feature of remote approach is the ability to generate time series of AGB maps, as it relies to a large extent on regular satellite observations rather than sparse forest inventory data.

The modeling approach, on the one hand, is a combination of cartographic and conversion approaches. That is, the model is either applied to polygons or pixels of digital maps or uses information from forest inventories on volumetric wood stocks [2]. On the other hand, modeling approaches include deterministic mathematical models that allow not only to estimate but also forecast carbon stocks and flows. Modeling approaches are focused on considering a detailed scheme of the carbon cycle (for example, they take into account the transition of forest plantations from one age stratum to another over time), followed by an estimation of carbon losses due to forest cover disturbance. Satellite data in modeling approaches are used to generate digital maps. Examples of carbon stock estimation models: IIASA [2, 10], ROBUL [11], CBM-CFS3 [12]. All of them are complex mathematical models, having been developed and verified for 10 to 20 years, requiring a large amount of ground-based data.

Biomass maps and carbon stocks. The current projects aimed at creating continental and global biomass maps: NASA GEDI product at 1 km resolution (2020, 2021), NASA ICESat-2 product for the northern polar latitudes (30 m resolution, 2020), NCEO for Africa at 100 m resolution (2017), CCI-Biomass global product at 100 m resolution (2010, 2017, 2018, 2020), JPL product at 100 m resolution (2020).

GEDI Biomass Map. Dataset at 1x1 km resolution consisting of two raster files: aboveground biomass density (ABGD) and mean aboveground biomass density standard error ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Fig. 3, Fig. 4). GEDI Biomass Map data cover the territory of Ukraine from the south up to the Chernihiv latitude. Higher latitudes are not available to the GEDI lidar aboard the International Space Station.

- Spatial Resolution: 1 km

- Spatial Coverage: global within a nominal latitude extent of 51.6°N to 51.6°S
- Temporal Coverage: 2019-04-18 — 2021-06-09
- Update Frequency: annual
- Format: GeoTIFF
- Access: [GEDI L4B Gridded Aboveground Biomass Density, Version 2](#)
- User Guide:

https://daac.ornl.gov/GEDI/guides/GEDI_L4B_Gridded_Biomass.html

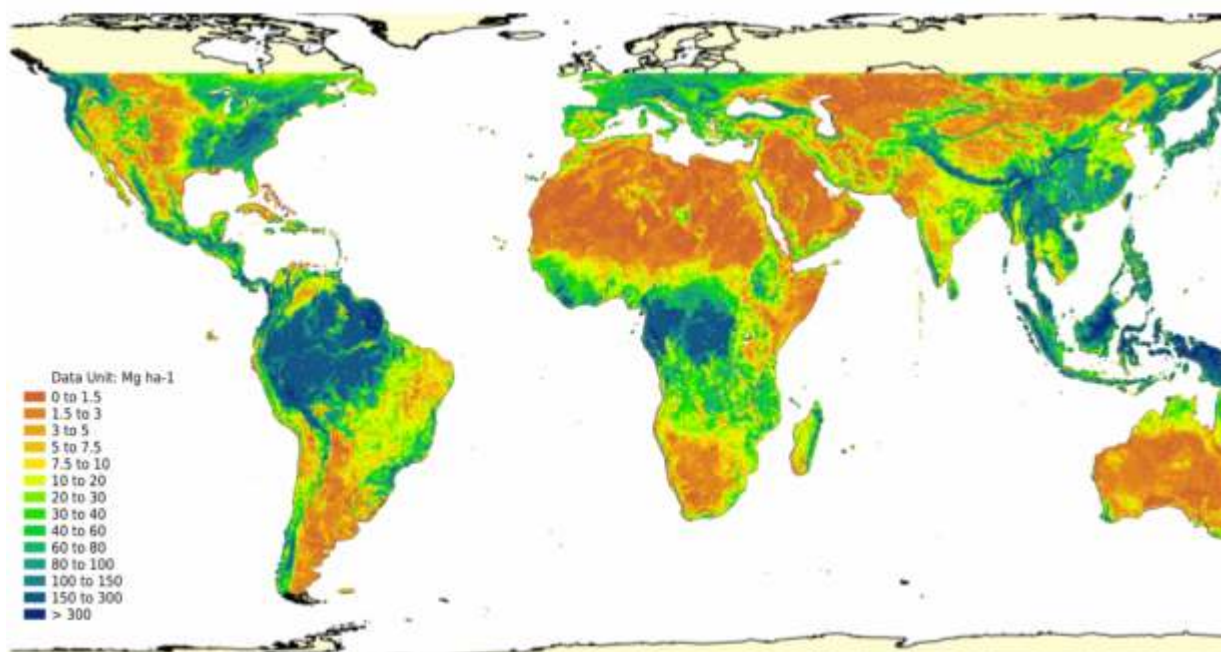


Figure 3 – GEDI L4B Gridded Mean Aboveground Biomass Density (webmap.ornl.gov)

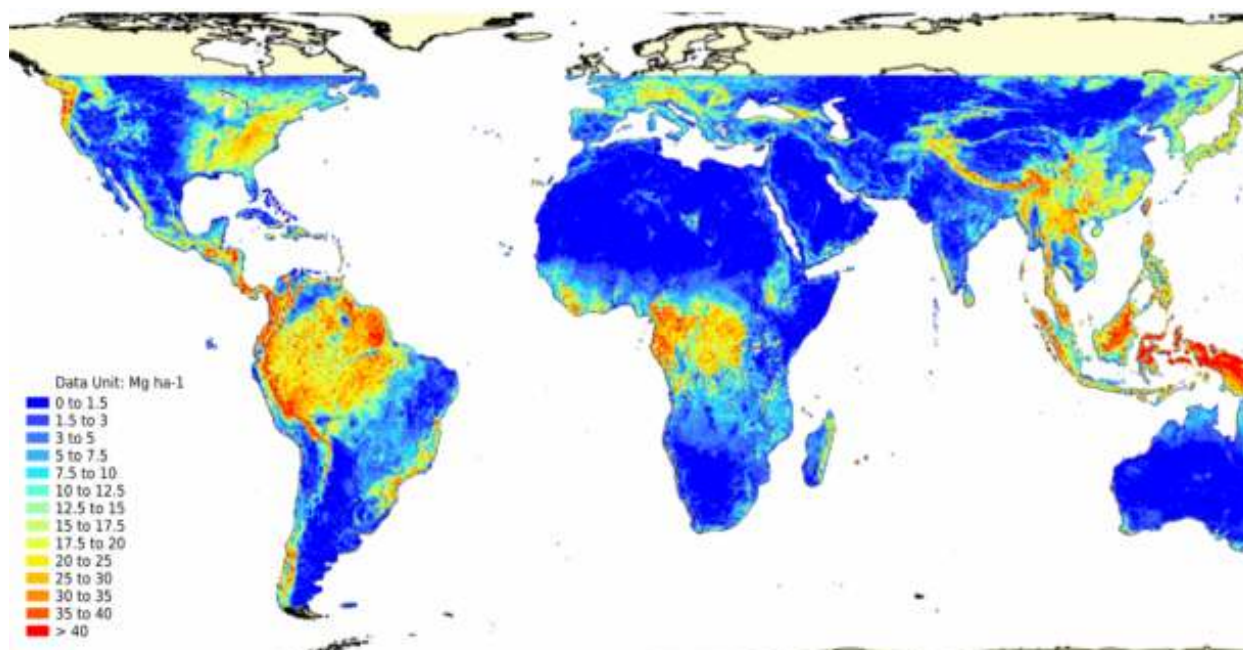


Figure 4 – GEDI L4B Gridded AGBD Standard Error (webmap.ornl.gov)

The AGBD value refers to the whole pixel. To calculate AGBD for the pixel area covered with forest, AGBD should be partitioned by the fraction of this area.

ICESat-2 Boreal Biomass 2020 Map. The ICESat-2 Boreal Biomass Map for 2020 provides boreal-wide woody aboveground biomass density values (ATL08), filling a gap in the GEDI data. The data were obtained using the Advanced Topographic Laser Altimeter System (ATLAS) lidar on the ICESat-2 satellite.

- Spatial Resolution: 30 m
- Spatial Coverage: 50° N — 75° N
- Temporal Coverage: 2020
- Update Frequency: annual
- Format: HDF5
- Data access and user manual (ATLAS/ICESat-2 L3A Land and Vegetation Height, Version 5): <https://nsidc.org/data/ATL08>

NCEO Africa Aboveground Woody Biomass 2017. NCEO Africa Aboveground Woody Biomass (AGB) map for the year 2017 at 100 m spatial resolution. The dataset consists of two files: the Aboveground Woody Biomass Raster and the Biomass Estimation Uncertainty Characteristics Raster at a 100 m resolution. AGB is dry matter in Mg·ha⁻¹. A map is a continental-scale dataset combining different-type data. First, a Canopy Height Model (CHM) map was created by combining tree canopy height measurements from GEDI lidar and ALOS-2 PALSAR-2 L-band radar for a forest mask generated from Landsat-8 data. An empirical model relating CHM with AGB was then used to estimate AGB, trained on data from several airborne lidars. Therefore, the accuracy of biomass estimates may vary for different regions and vegetation types.

- Spatial Resolution: ~100 m.
- Spatial Coverage: Africa
- Temporal Coverage: 2017
- Update Frequency: annual
- Format: GeoTIFF
- Access: <https://doi.org/10.25392/leicester.data.15060270.v1>
- User manual:

https://leicester.figshare.com/articles/dataset/Africa_Aboveground_Biomass_map_for_2017/15060270/1?file=28962087

CCI BIOMASS provides AGB maps for four observation periods (epochs) and the standard deviations of the corresponding AGB estimates. The AGB product consists of global datasets with AGB estimates (Mg·ha⁻¹). AGB is a dry weight of the woody

parts (trunk, bark, branches, and shoots) of all living trees, excluding stumps and roots.

- Spatial Resolution: ~100 m at the equator
- Spatial Coverage: global
- Temporal Coverage: 2010, 2017, 2018, and 2020
- Format: NetCDF, GeoTIFF
- Access: <https://climate.esa.int/en/odp/#/project/biomass> (data for 2010, 2017, and 2018 available as of 30.04.2022)
- User manual:

https://climate.esa.int/media/documents/D4.3_CCI_PUG_V3.0_20210707.pdf

JPL 2020 Global Biomass Dataset. The JPL 2020 map is a global estimate of AGB density in $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ based on a combination of Landsat-8, ALOS-2 PALSAR-2 (2019-2020), and SRTM DTM composite data at a spatial resolution of 100 m. The boosting tree machine regression model was trained on ICESAT-1 space lidar data samples, airborne lidar data, and field inventory data.

- Spatial Resolution: ~100 m
- Spatial Coverage: global
- Temporal Coverage: 2020
- Update Frequency: annual
- Format: GeoTIFF
- Information about data: <https://ceos.org/gst/jpl-biomass.html> (as of April 30, 2022, there are no open access data)

The product is supposed to be placed on the Multi-Mission Algorithm and Analysis Platform (<https://ops.maap-project.org/search/>), divided by continents (Africa, Asia, Europe, North and South America, Oceania).

Biomass Estimation Challenges. Long-term practice of using allometric equations relating physical characteristics of trees (height, trunk diameter, etc.) with biomass has proved the effectiveness of these models. Nowadays they provide the most accurate biomass estimates compared to other indirect methods and are recommended by the IPCC [1]. However, like all models, biomass estimates using allometric equations contain an error of about 15–20% for tropics [7]. This is the price of transition from direct biomass measurement through cutting down trees and burning wood to estimating biomass with a model.

An important peculiarity of allometric models is their locality. Models vary depending on climatic conditions, vegetation structure, tree species, and forms of their growth. Different forest biomes (tundra, taiga, broad-leaved forests, etc.) and even

individual regions within a biome are described by different allometric models. Model transfer from one region to another (even for one tree species) requires at least careful justification, and the creation of a new model requires long-term and expensive ground-based observations. When using different allometric models in one area, the differences in carbon stock estimations reached 93% [4]. Thus, it is possible to rely on allometric models only in those regions and for those tree species for which these models are adapted. To expand the scope, other approaches to assessing biomass should be used, in particular, remote.

Despite the wide use of optical remote sensing data, their ability to assess AGB in forests is limited due to poor penetration under the forest canopy, cloudiness, and saturation [3, 4]. Saturation is expressed in the fact that, upon reaching a certain forest biomass density, the image characteristics (for example, spectral reflectivity or vegetation indices) become not sensitive to biomass changes [3]. It seems obvious that an increase in the spatial resolution of optical data should reduce the influence of the saturation effect. However, estimates relating saturation to a spatial resolution of the data could not be found in the literature. At the same time, several publications [3, 5] indicate that the use of multispectral optical data (Landsat, MODIS) makes it possible to provide an acceptable quality of AGB estimates.

The possibilities of radar signal penetration under the forest canopy depend on the range: X-band and C-band signals practically do not penetrate under the forest canopy, while L- band and P-band signals penetrate there freely. However, satellite radars of all bands are used to monitor forests. Despite the positive correlation of reflected radar signal with forest structure parameters, there is also a saturation problem for radar data. Saturation can occur in different types of temperate, boreal, and tropical forests. It depends on wavelength, polarization, vegetation characteristics, and soil conditions. It is noted in [3] that the saturation effect is present even for L-band signals. In addition, it is difficult to estimate AGB from SAR data alone since these data provide information on the surface roughness and do not distinguish between vegetation types [3].

A breakthrough in forest surveillance is expected from the launch of ESA BIOMASS (scheduled for 2023), a P-band (70 cm wavelength) satellite radar. BIOMASS is expected to significantly increase the accuracy of AGB estimation (reduce the standard error to $\pm 10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ for AGB below $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ and the relative error to $\pm 20\%$ for AGB above $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). However, the BIOMASS mission is limited to measurements outside the US Space Objects Tracking Radar range. This means that the sensor will have to be disabled in North and Central America, as well as in

Europe. However, most biomass-rich tropical forests will be covered by BIOMASS observations.

Lidars are the best in terms of biomass estimation capabilities [3, 4, 6]. In recent years, aviation lidars have become an indispensable tool for forest inventory. There are currently two satellite lidars in orbit: GEDI and ICESat-2. They provide spot estimates of biomass that can be used to train regression models generated from other remote sensing data.

AGB mapping is a priority for several current (GEDI, ICESat-2) and advanced (BIOMASS, ALOS-4, and NISAR) space missions. Although new satellite products for AGB estimation are a positive trend, the simultaneous existence of a large number of such products without their consistent and transparent intercomparison/validation threatens the successful use of any of them for biomass estimation. Currently, several large organizations such as NASA, ESA, CEOS, JAXA, etc. are developing a single consistent product for biomass estimation based on existing products (scheduled for release in 2022) [6]. The Multi-Mission Algorithm and Analysis Platform (MAAP) online platform (<https://earthdata.nasa.gov/maap-biomass/>) – a joint project of NASA and ESA was created to provide the product access.

Examples of using the remote approach to biomass estimation. In [13, 14], maps of carbon stocks in the tropics were generated using data from ground-based measurements, the Geoscience Laser Altimeter System (GLAS) lidar of the ICESat satellite, the earth's surface spectral reflectivity, and temperature, measured by the MODIS spectrometer onboard Terra and Aqua satellites, as well as a digital elevation model (DEM) SRTM (in [14], the QSCAT scatterometer data were also used). The mapping approach [13, 14] was used for many subsequent studies. Let's consider it using the example [13]. This work was implemented in three stages: 1) ground samples collection, 2) ground sample expansion using satellite lidar data, and 3) regression on the generated sample.

In the first stage, a protocol was developed to standardize data collection and ground-based measurements were carried out (2008–2010) in the GLAS lidar coverage area, in a wide range of climatic conditions – in tropical Africa, America, and Asia. Measurements of aboveground biomass characteristics taken at the center of the GLAS footprints (circle 70 m in diameter) were included in the number of samples.

Enlarging of the training sample. In the second stage, the density of tree biomass was estimated from field measurements using allometric equations. Tree biomass density was converted to carbon using a 0.5 factor. A statistical relationship (regres-

sion) between the biomass estimates from ground-based measurements and the lidar waveform metrics was determined. This allowed field measurements to be extended to thousands of new locations (GLAS footprints). The allometric equations were selected individually for each vegetation class at ground measurement points (there are more than 10 such classes in [13]). It should be noted that in [13] the study area was not zoned, and a single relationship was used for the regression between the lidar signal metrics and carbon stocks (global linear regression). As a result, the expanded sample contained more than 5 million elements.

Spectral reflectivity, ground temperature, and DEM as features. In the third stage, the obtained sample was used to train the model, in which the MODIS Nadir BRDF-Adjusted Reflectance (NBAR), MODIS Land Surface Temperature (LST), and SRTM DEM data were used as predictors. Among the predictors, the MODIS Red (B1, 620–670 nm) and SWIR (B7, 2105–2155 nm) bands proved to be the most important variables for explaining the dispersion of aboveground carbon density.

Random Forest. The Random Forest machine learning algorithm was used to generate the model. This method is used in many works on biomass estimation as a simple and reliable non-linear regression method.

Zoning. In [15], clustering is used to create a training sample: the study area is divided into segments, in which the required number of samples is selected (ground-based biomass estimates). Then the classification trained on these samples was used. Biomass was modeled from optical indices.

Textural features. Asner et al. [16] combined Landsat predictors with variables based on the SRTM DTM to map carbon stocks in Peru. Grey-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) and Fourier Transform Textural Ordination (FTTO) metrics were used as surface texture features. Measurements from aviation lidar were used for training. Regression was based on Random Forest method.

Climatic features. In [17], four climatic parameters — Mean Annual Precipitation (mm), Mean Annual Temperature (°C), Mean Relative Humidity (%), and Mean Annual Evaporation (mm) — are modeled based on the dependence on the height gradient (data from neighboring weather stations were used for training). These climate parameters, along with the 5 spectral vegetation indices (RVI, NDVI, SR, NDGI, DVI, and TVI) and near-infrared (NIR) spectral reflectance, extracted from SPOT-6 satellite data, were then used to model carbon stocks in the forests of northern Iran. The training was based on ground measurements. Modeling method: multivariate linear regression. Precipitation and temperature influenced the carbon stock esti-

mates most of all among climatic parameters. NDVI and RVI indices as well as spectral reflectance in the NIR band influenced the most among satellite data.

The use of boosting (CatBoost). In [18], predictors and machine learning methods with the least mean squared error (RMSE) of carbon stocks determining were analyzed. Totally 53 predictors were investigated: 6 Landsat OLI spectral bands, 11 vegetation indices, textural features (GLCM) – 8 features for four window sizes (3x3, 5x5, 7x7, and 9x9). Terrain features: elevation, slope, and aspect (SRTM), as well as canopy density. Among the algorithms, CatBoost proved to be the best, overtaking XGBoost and Random Forest.

Models for each forest type. To improve the accuracy of carbon stock estimates, 5 models were used in [19] for the following forest types: Evergreen Needleleaf Forest, Evergreen Broadleaf Forest, Deciduous Needleleaf Forest, Deciduous Broadleaved Forest, and Mixed Forests.

Biophysical predictors. A combination of lidar data, optical satellite sensors, and ground-based measurements [19] was used as predictors for estimating AGB forest stocks: biophysical predictors (high-level products in [19]) LAI, GPP, VCF (Vegetation Continuous Fields), and Land Cover (MODIS data), canopy height (ICESat), climatic variables (monthly mean temperature, total precipitation data) and DTM SRTM. Regression method: a gradient boosting regression tree. The validation results demonstrated good accuracy with $R^2 = 0.90$ and a standard error of $35.87 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Backscatter inversion. In [20], the BIOMASAR algorithm was proposed for estimating AGB from satellite radar data. The algorithm consists of two main steps:

1. creation of a stack of calibrated, geocoded, and co-registered radar images (containing backscatter coefficient values);
2. inversion of individual backscatter measurements with a Water Cloud type model for estimating growing stock volume (GSV) and a multi-temporal combination of individual GSV estimates.

The modern version of BIOMASAR, which uses multi-temporal ALOS-2/PALSAR-2 L-band radar data, is discussed in [21].

Multi-sensor data. The use of combinations of optical and lidar data as well as radar and lidar data naturally leads to the idea of combining all three data types to improve the AGB estimate accuracy. This approach was proposed in [22], where multi-seasonal Landsat images were used to obtain information on the forest species composition in the study area, aviation lidar data to measure the forest canopy height, texture metrics, as well as Sentinel-1 radar data. The regression is based on

the Random Forest method and uses USFS ground inventory and forest analysis data for training and validation. The best model reached $R^2 = 0.625$, with a RMSE = 18.8 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (47.6%) at a spatial resolution of 30×30 m. The five most influential features are the 95th, 85th, 75th, and 50th percentiles of point height measured by lidar and the standard deviations of the 85th percentile of height.

The CCI Biomass and JPL 2020 Global Biomass datasets mentioned above are also examples of regression applications for various satellite data, and the description of algorithms for constructing these datasets (not published as of 2020-05-02) should be studied in more detail.

Conclusions. Existing approaches to carbon stocks assessment in forest ecosystems are considered. The most preferable for practical use over large areas is the remote approach, which combines ground-based and satellite measurements for forest classification and carbon stock regression.

Datasets with biomass and carbon stock estimates are described that can be used to train and validate machine learning methods. The most promising product for Ukraine is GEDI Biomass Map, covering most of the territory of Ukraine — from the southern borders to the latitude of Chernihiv in the north.

Examples of remote approach applications to forest biomass estimation are discussed. Promising predictors and machine learning methods are indicated. An analysis of examples showed the importance of preliminary partitioning of a large study area into zones. Such partitioning, as well as the search for predictors and machine learning methods, will require additional research.

A prototype product for estimating forest biomass in Ukraine can be based on publicly available MODIS NBAR data (MCD43A4), SRTM DEM, ECMWF climate data, and can be used to train the GEDI Biomass Map model. As test regions, it is proposed to use 3-5 regions of Ukraine with different natural conditions and forest types.

REFERENCES

1. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry / Edited by J. Penman et al. IPCC, 2003. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
2. Zamolodchikov D. Systems for estimating and forecasting carbon stocks in forest ecosystems // Sustainable Forestry. 2011. № 4 (29). C. 15-22. URL: https://wwf.ru/upload/iblock/fb8/04-_17_.pdf
3. Gonçalves, A. C., Sousa, A., Malico, I. (Eds.). (2021). Forest Biomass — From Trees to Energy. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90324> / Patrícia

Lourenço. Biomass Estimation Using Satellite-Based Data, DOI: 10.5772/intechopen.93603. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/73176>

4. Rodríguez-Veiga, P., Wheeler, J., Louis, V. et al. Quantifying Forest Biomass Carbon Stocks From Space. *Curr Forestry Rep* 3, 1–18 (2017).

<https://doi.org/10.1007/s40725-017-0052-5>

5. Baccini, A., Goetz, S., Walker, W. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Clim Change* 2, 182–185 (2012). <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>

6. CEOS Above Ground Biomass. Above ground biomass products: NCEO Africa Biomass, IceSat-2 Boreal Biomass, JPL Global Biomass, GEDI Biomass, ESA CCI Biomass. URL: <https://ceos.org/gst/biomass.html>

7. How We Measure the Carbon Capture Potential of Forests _ Terraformation Blog.

URL: <https://www.terraformation.com/blog/how-to-measure-carbon-capture-potential-forests>

8. Kolchugina, T.P. and Vinson, T.S. (1993). Carbon sources and sinks in forest biomes of the former Soviet Union. *Global Biogeochemical Cycles* 7: doi: 10.1029/93GB00571.

9. Kindermann G.E., McCallum I., Fritz S., Obersteiner M. (2008). A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica* vol. 42 no. 3 article id 244. <https://doi.org/10.14214/sf.244>

10. Shvidenko, A.Z. & Schepaschenko, D.G. (2014). Carbon budget of Russian forests. *Siberian Journal of Forest Science* 1 69-92. URL:

<http://sibjforsci.com/upload/iblock/0fd/0fd7fb4421fd068bc0f1b9b578ad5d55.pdf>

11. Korzukhin, M. D., & Korotkov, V. N. (2018). Modification of the ROBUL Model for Accounting the Carbon Balance of Russian Forests. *Fundamental and Applied Climatology*, 3, 30–53. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-3-30-53>

12. CBM-CFS3. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/climate-change-adapting-impacts-and-reducing-emissions/climate-change-impacts-forests/carbon-accounting/carbon-budget-model/cbm-cfs3/13089>

13. Baccini, A., Goetz, S., Walker, W. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Clim Change* 2, 182–185 (2012). <https://doi.org/10.1038/nclimate1354>. Supplementary information:

<https://static->

[con-](https://static-)

[tent.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fnclimate1354/MediaObjects/41558_2012_BFnclimate1354_MOESM395_ESM.pdf](https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fnclimate1354/MediaObjects/41558_2012_BFnclimate1354_MOESM395_ESM.pdf)

14. Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9899–9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
15. Bordoloi, R., Das, B., Tripathi, O. P., Sahoo, U. K., Nath, A. J., Deb, S., Das, D. J., Gupta, A., Devi, N. B., Charturvedi, S. S., Tiwari, B. K., Paul, A., & Tajo, L. (2022). Satellite based integrated approaches to modelling spatial carbon stock and carbon sequestration potential of different land uses of Northeast India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 13, 100166. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100166>
16. Asner, G. P. et al. Targeted carbon conservation at national scales with high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, E5016–E5022 (2014). <https://doi.org/10.1073/pnas.1419550111>
17. Ghanbari Motlagh M., Babaie Kafaky S., Mataji A., Akhavan R. (2019): Calculation of the aboveground carbon stocks with satellite data and statistical models integrated into the climatic parameters in the Alborz Mountain forests (Northern Iran). *J. For. Sci.*, 65: 493-503. <https://doi.org/10.17221/107/2019-JFS>
18. Luo, M., Wang, Y., Xie, Y., Zhou, L., Qiao, J., Qiu, S., & Sun, Y. (2021). Combination of Feature Selection and CatBoost for Prediction: The First Application to the Estimation of Aboveground Biomass. *Forests*, 12(2), 216. <https://doi.org/10.3390/f12020216>
19. L. Yang, S. Liang and Y. Zhang, "A New Method for Generating a Global Forest Aboveground Biomass Map From Multiple High-Level Satellite Products and Ancillary Information," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 13, pp. 2587-2597, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2987951
20. Santoro, M., Beer, C., Cartus, O., Schmullius, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Wegmuller, U., & Wiesmann, A. (2010). The BIOMASAR algorithm: An approach for retrieval of forest growing stock volume using stacks of multi-temporal SAR data. In: *Proceedings of ESA Living Planet Symposium*, 28 June–2 July 2010. URL: https://biomasar.org/fileadmin/biomasar/papers/santoro_biomasar_LPSympo_2010.pdf
21. Khati U, Lavallo M and Singh G (2021) The Role of Time-Series L-Band SAR and GEDI in Mapping Sub-Tropical Above-Ground Biomass. *Front. Earth Sci.* 9:752254. doi: 10.3389/feart.2021.752254

22. Ehlers, D.; Wang, C.; Coulston, J.; Zhang, Y.; Pavelsky, T.; Frankenberg, E.; Woodcock, C.; Song, C. Mapping Forest Aboveground Biomass Using Multisource Remotely Sensed Data. *Remote Sens.* 2022, 14, 1115.

<https://doi.org/10.3390/rs14051115>

Received 19.04.2022.

Accepted 22.04.2022.

Аналіз методик оцінки запасів вуглецю у лісах

Розглянуто сучасні підходи до оцінки запасів вуглецю у лісових екосистемах. Існує чотири базові підходи проведення регіональної оцінки запасів вуглецю в лісах: картографічний; конверсійний; дистанційний; модельний. Найбільш перспективним для практичного використання на великих територіях є дистанційний підхід, що поєднує наземні та супутникові вимірювання. На відміну від картографічного підходу, супутникові дані використовуються для класифікації лісів та регресії запасів вуглецю у кожному пікселі досліджуваної області. Дистанційний підхід менш трудомісткий, ніж конверсійний, оскільки потребує менших обсягів наземних даних. Важливою особливістю дистанційного підходу є можливість створювати за його допомогою тимчасові ряди карт AGB.

Описано набори даних, що містять оцінки біомаси та запасів вуглецю, які можна використовувати для навчання/валідації у машинному навчанні. Розглянуто та проаналізовано приклади застосування дистанційного підходу до оцінки біомаси лісу, визначено перспективні предиктори. Аналіз прикладів показав важливість попереднього розбиття (у разі великої площі) області дослідження на відповідні зони.

Для оцінки запасів вуглецю лісів України найбільш перспективним є дистанційний підхід, що поєднує наземні та супутникові вимірювання для класифікації лісів та статистичного моделювання запасів вуглецю. Для навчання та валідації алгоритмів машинного навчання пропонується використовувати GEDI Biomass Map, що покриває більшу частину території України — від південних границь до широти Чернігова на півночі. Прототип продукту для оцінки біомаси лісів України може спиратися на загальнодоступні дані MODIS NBAR, ЦМР SRTM, кліматичні дані ECMWF та використовувати метод машинного навчання Random Forest.

Ключові слова: ліс, запас вуглецю, наземна біомаса, супутникові дані, GEDI, ICESat-2.

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

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

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

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

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

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

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

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

НЕЧІТКІСТЬ ТИПУ-2 У ЗАВДАННІ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. Для вивчення макро- та мікроструктури сплавів використовуються збільшені зображення спеціально підготовлених зразків, що призводить до зростання внесок шумової складової та дефектів. Це потребує застосування методів корекції зображень для забезпечення точності фотометрії. В роботі представлені можливості підвищення достовірності сегментації зображень та чіткості виявлення меж об'єктів інтересу за рахунок використання на етапі фазифікації функцій приналежності типу-2. Представлений алгоритм дозволяє автоматизувати розрахунок параметрів перетворення з урахуванням яскравих характеристик вихідних даних. Показано, що потрібна попередня обробка даних для вирівнювання фону. Запропонований спосіб адаптивного розрахунку параметрів переходу в простір типу-2 забезпечує підвищення достовірності та чіткості виявлення меж об'єктів. Наведено експериментальні результати на прикладі реального зображення електронного мікроскопа зразка сплаву заліза.

Ключові слова: слабкоконтрастні зображення, нечіткі методи, візуальний аналіз, функція приналежності, сегментація, нечіткі множини типу-1, нечіткі множини типу-2.

Вступ. Системи, які засновано на нечітких множинах успішно впроваджені в таких галузях, як управління технологічними процесами, медична та технічна діагностика, прогнозування, обробка зображень. Поняття нечіткої множини це математична формалізація неточності і невизначеності, які присутні у даних, відображення того, що елементи, що відносяться до однієї множини, мають спільну властивість у різному ступені. У цифрових зображеннях завжди є неоднозначність за рахунок процесів у системі формування, зокрема, відображення 3D образів у 2D простір, дискретизації за часом та квантування за амплітудою. Крім цього, завдання перетворення вихідних знімків для вирішення конкретних завдань, наприклад, сегментація, бінаризація, виявлення аномалій є неоднозначними за своєю природою [1].

Нечіткі множини типу-1 (НМТ1) [2, 3] стали потужним інструментом для роботи із зображеннями. Основна проблема при роботі з НМТ1 – це суб'єктив-

ність у визначенні функції належності. Крім цього, у НМТ1 самі функції належності є чіткими. Для налаштування та уточнення функцій належності типу-1 у нечітких системах сучасні дослідження використовують нечіткі множини типу-2 (НМТ2), які мають нечіткі функції належності та здатні моделювати невизначеність, яка присутня у знаннях та алгоритмах [4].

Постановка задачі. Основною метою цієї статті є розгляд можливості підвищення достовірності сегментації зображень та чіткості виявлення меж об'єктів інтересу за рахунок використання функцій приналежності типу-2 на етапі фазифікації та розробка алгоритму, що дозволяє автоматизувати розрахунок параметрів перетворення з урахуванням яскравих характеристик вихідних даних.

Аналіз. Бездек в 1981 [2], запропонував нечіткий алгоритм кластеризації С-середніх (FCM), який широко використовується при сегментації зображень [6]. Введення нечіткості дозволяє отримати більше інформації за рахунок збільшення простору ознак при описі властивостей об'єктів і кластерів. Недоліком методу є чутливість до шумів та невизначеність визначення деяких параметрів алгоритму. Для компенсації цього недоліку розроблено різні модифікації методу FCM, що враховують специфіку зображень конкретного типу [7].

Поняття НМТ2 ввів Заде [5]. Rhee і Hwang [6] представили модифікацію алгоритму FCM з використанням нечіткості типу 2 (T2FCM), яка використовується для уточнення розташування центрів класів. Цей підхід отримав подальший розвиток в даний час для уточнення інших алгоритмів з використанням різних способів формування нечіткої функції приналежності типу-2 [7, 8].

Основна частина. Для НМТ1 ступінь приналежності до нечіткої множини кожного елемента x_i , визначеного на універсальній множині X є дійсним числом $\mu_A(x_i)$, що належить відрізьку [0, 1]. Дискретне НМТ1 A_{T1} записується

$$A_{T1} = \sum_{i=1}^k \mu_{T1}(x_i) / x_i . \quad (1)$$

Перетворення на нечіткий простір типу-1 здійснюється на основі функції приналежності типу-1 (membership function). Її вид є специфічним, визначається на основі експертних оцінок та модельних експериментів для кожної конкретної задачі. Така неоднозначність, в свою чергу, може бути описана нечіткою множиною другого порядку – НМТ2. НМТ1 характеризується ступенем розпливчастості, а НМТ2 – ступенем нечіткості.

НМТ2 A_{T2} представляється множиною пар:

$$A_{T2} = \{((x, u), \mu_{T2}(x, u), x \in X, u \in J_x \subseteq [0, 1])\}, \quad (2)$$

де $\mu_{T2}(x, u)$ – безліч функцій приналежності, що характеризують ступінь приналежності елементів x , а u – третій вимір, що характеризує вторинну функцію приналежності множини A_{T2} .

На рис. 1 а, представлена 3D модель НМТ2, де третім виміром у кожній точці 2D області є так званий слід невизначеності (the footprint of uncertainty – FOU). FOU відображає розмивання функції приналежності типу-1 (міру мінливості форми), яке повністю описується двома функціями: нижня функція приналежності (НФП) μ_L і верхньої функції приналежності (ВФП) μ_U , кожна з яких являє собою НМТ1 (рис. 1 б).

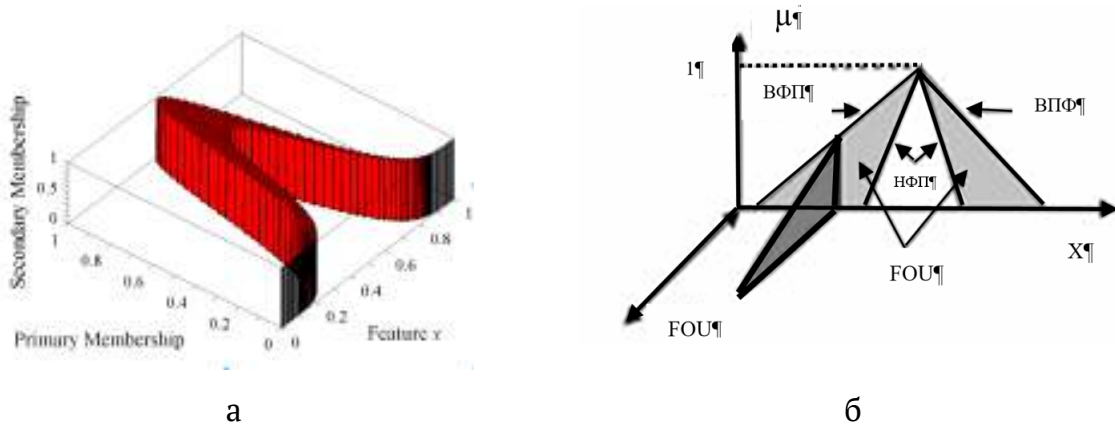


Рисунок 1 - НМТ2: а – 3D модель; б – межі мінливості

Для зображення НФП μ_L та ВФП μ_U можуть бути описані виразами:

$$\mu_L(i, j) = \mu(g(i, j))^{\alpha(i, j)}, \quad (3)$$

$$\mu_U(i, j) = \mu(g(i, j))^{\frac{1}{\alpha(i, j)}}, \quad (4)$$

де $g(i, j)$ – яскравість пікселя, $\mu(g(i, j))$ – функція приналежності типу-1, $\alpha \in (1, \infty)$. Зазвичай для зображення значення $\alpha > 2$ не має сенсу.

Один із способів адаптивного визначення параметра α для кожної просторової точки (i, j) має вигляд [9]:

$$\alpha(i, j) = F \times \min \left(1, \frac{\max g(i+k, j+k) - \min g(i+k, j+k)}{L-1} \right), \quad (5),$$

де вікно перетворення має розмір $k \times k$, константа $F \in (1, \infty)$ є коефіцієнтом посилення, що контролює довжину/ширину сліду невизначеності FOU, а L – кількість рівнів сірого. Це означає, що якщо інтенсивність центрального пікселя

значно відхиляється від безпосереднього оточення, то невизначеність сегментації зростає.

Новий рівень сірого $g'(i, j)$ обчислюється за формулою:

$$g'(i, j) = (L - 1) \times \frac{\omega_U(i, j)\mu_U(g(i, j)) + \omega_L(i, j)\mu_L(g(i, j))}{\omega_U(i, j) + \omega_L(i, j)}, \quad (6)$$

де ваги ω_L та ω_U для функцій належності μ_L , μ_U (з урахуванням масштабування зображення на $[0,1]$) можуть розраховуватися як локальний мінімальний та максимальний рівні сірого в межах вікна:

$$\omega_L(i, j) = \min_k g(i + k, j + k) \quad (7)$$

$$\omega_U(i, j) = \max_k g(i + k, j + k) \quad (8)$$

Але при практичному використанні наведеного алгоритму для сегментації зображень, які відмасштабовано на $[0,1]$ виникають складнощі, пов'язані з тим, що після використання формули (6) значення сірого може суттєво виходити за межі $[0,1]$. Отже, масштабування результуючого зображення на $[0,1]$ може призводити до зниження яскравості об'єктів інтересу. Також при використанні формули (5) значення α може бути як більше за 1, так и менше, в залежності від параметру F . Це, в свою чергу, призводить до того, що μ_L може в деяких точках бути більша за μ_U .

Отже, у даній роботі розглянуто шляхи усунення цих недоліків, можливість використання інших функціональних залежностей для μ_L та μ_U , а також автоматичного формування значення F .

Одним зі шляхів усунення описаних вище проблем у формулах (5) та (6) є відмова від використання значення L . Таким чином формули (5) та (6) можна переписати у наступному вигляді:

$$\alpha(i, j) = F \times \min\left(1, \max_k g(i + k, j + k) - \min_k g(i + k, j + k)\right), \quad (9)$$

$$g'(i, j) = \frac{\omega_U(i, j)\mu_U(g(i, j)) + \omega_L(i, j)\mu_L(g(i, j))}{\omega_U(i, j) + \omega_L(i, j)}. \quad (10)$$

Також можна врахувати значення L інакше:

$$\alpha(i, j) = F \times \min\left(1, \left(\max_k g(i + k, j + k) - \min_k g(i + k, j + k)\right) \times \frac{L-1}{k \times k}\right), \quad (11)$$

$$g'(i, j) = \left(\frac{\omega_U(i, j)\mu_U(g(i, j)) + \omega_L(i, j)\mu_L(g(i, j))}{\omega_U(i, j) + \omega_L(i, j)}\right)^b, \quad (12)$$

де b розраховується за формулою:

$$b = \max \left(0.1, 1 + \operatorname{sgn}(\bar{X} - \bar{x}) \times \left(3 \times \left(\frac{L-1}{k \times k \times (1 + \max(\bar{X}, \bar{x}))} + \omega_L(i, j) + \bar{x} \right) \right)^{1+F} \right), \quad (13)$$

де \bar{X} та \bar{x} – середні значення для всього зображення та поточного вікна, відповідно. При цьому, якщо $\alpha < 1$, то це значення змінюється за формулою:

$$\alpha = \alpha^{1-\alpha^{1-\alpha}}. \quad (14)$$

Для того, щоб гарантувати виконання нерівності $\mu_L < \mu_U$ можна обміняти місцями значення для тих точок, де ця нерівність не виконується.

Автоматичний розрахунок значення F у цій роботі пропонується виконувати наступним чином:

$$F = \frac{1}{(F')^{1+F'}}, \quad (15)$$

$$F' = \left(\frac{\omega_L(i, j)}{\omega_U(i, j)} \right)^{1 + \frac{\bar{X}}{\bar{x}}}. \quad (16)$$

Також для розрахунку значень μ_L та μ_U запропоновано використовувати формули:

$$\mu_L(i, j) = \mu(g(i, j)) \frac{a(i, j) + \mu(g(i, j)) / 2}{2}, \quad (17)$$

$$\mu_U(i, j) = \mu(g(i, j)) \frac{2}{a(i, j) + \mu(g(i, j)) / 2}, \quad (18)$$

Експериментальні результати. Металографічні дослідження – це комплекс випробувань та аналітичних заходів, спрямований на вивчення макро- та мікроструктури сплавів, дослідження закономірностей їх утворення, а також визначення впливу структури на фізико-хімічні властивості сплаву. Для мікроскопічного аналізу спеціально підготовлені зразки досліджують за допомогою оптичного чи електронного мікроскопів. Оптичний мікроскоп дозволяє отримати збільшення зображення, що не перевищує $\times 1000$, електронний мікроскоп таких обмежень не має.

Аналіз зображень дозволяє спостерігати безпосередньо форму та розміри кристалічних зерен, зміни внутрішньої структури сплаву під впливом термічної або механічної обробки, мікротріщини тощо. Однак, при збільшенні зо-

браження також зростає внесок шумової складової та дефектів, що потребує застосування методів корекції для забезпечення точності фотометрії.

На рис. 2 а, 2 б представлено зображення зразка сплаву заліза, легованого молібденом та фосфором ($\times 3500$) і його гістограма, відповідно.

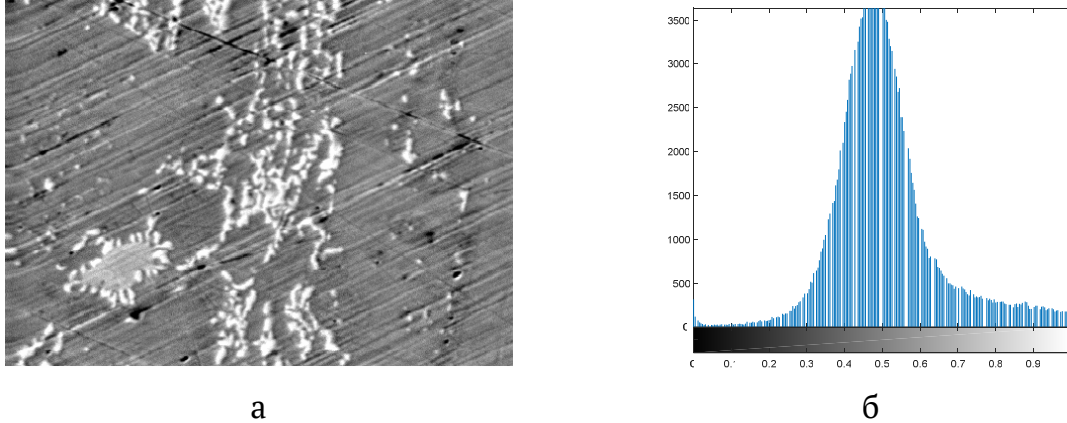


Рисунок 2 - а – вхідне напівтонове зображення (514x384); б – гістограма

Для таких зображень характерна наявність дефектів (подряпин на поверхні зразка). Видалення дефектів передбачає заміну відповідних пікселів значенням фону. У даній роботі запропоновано метод адаптивного віконного степеневого перетворення (АВСП):

1. Над вхідним зображенням виконується наступне перетворення:

$$g_1(i, j) = g(i, j)^{1 + (X_1)^{1 - \text{sgn}(\bar{X} - 0.5)} \times X_1}, \quad (19)$$

$$X_1 = \frac{\bar{X}^{1 + \bar{X}} + 0.5}{2}. \quad (20)$$

Це перетворення призводить до пропорційного зниження яскравості, що необхідне для зменшення впливу усереднення при відновленні зображення для видалення дефектів.

2. Відновлення фону на місці дефектів виконується на основі віконної обробки зображення g_1 (розмір вікна на основі експериментальних досліджень було обрано 5×5). При цьому для кожного пікселю, яскравість якого менша за значення $(x_{\min})'$, яке отримується з формули:

$$(x_{\min})' = (x_{\min} + \bar{X}_1) / 2, \quad (21)$$

де \bar{X}_1 – середнє за зображенням g_1 , розраховується нове значення яскравості на основі усереднення яскравостей усіх пікселів вікна заданого розміру, яскравість яких більша за $(x_{\min})'$. Таким чином формується зображення g_2 .

3. Для всіх пікселів зображення g_2 виконується наступне перетворення:

$$g_3(i, j) = g_2(i, j)^{1-X_1}. \quad (22)$$

Це перетворення необхідне для того, щоб пропорційне збільшити яскравість вихідного зображення після відновлення.

На рис. 3 а наведено результат застосування запропонованого алгоритму АВСП, який свідчить про його ефективність. Для порівняння, застосування методу еквалізації гістограми (рис. 3 б) посилює внесок шумової складової.

На рис. 4 а, 4 б наведено результат сегментації зображення 3 б на основі оригінального методу з використанням формул (3) – (6) и модифікованим методом на основі формул (3), (4), (9), (10) зі значенням розміру вікна 2×2 і $F = 2$, відповідно. Рис. 4 а демонструє появу артефактів, обумовлених порушенням нормалізації значень рівнів яскравості при перетворенні (3) – (6).

Адаптивне визначення коефіцієнтів перетворення за формулами F (15), μ_L (17) і μ_U (18), дозволяє покращити яскраві характеристики результату. На рис. 5 а, 5 б наведено сегментоване зображення з використанням виразів (9), (10) та – (11), (12), відповідно. Поліпшення контрастності, яка сприяє чіткості виявлення меж об'єктів інтересу на рис. 5 б, супроводжується посиленням шумів (дефектів).

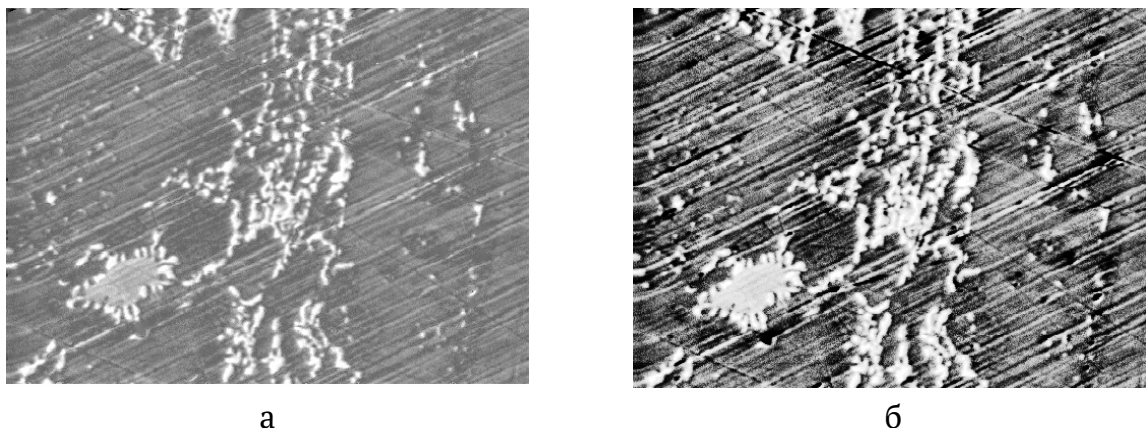
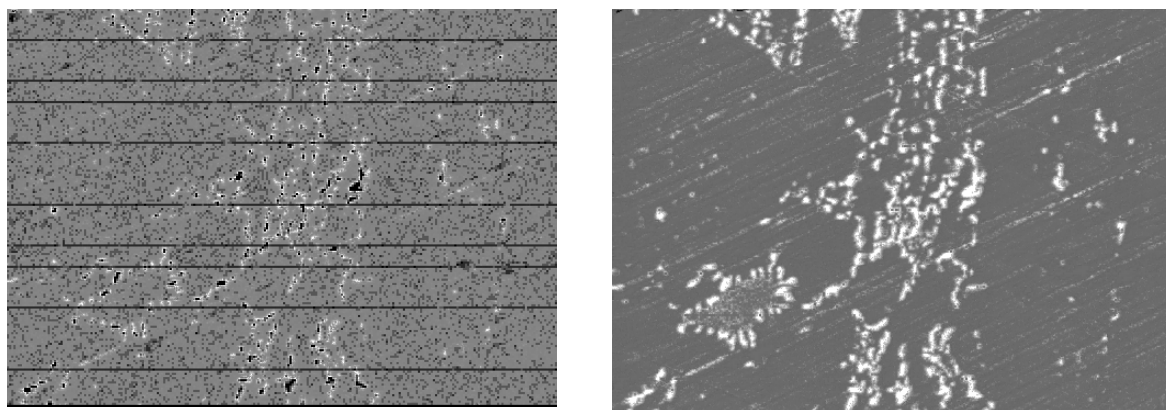


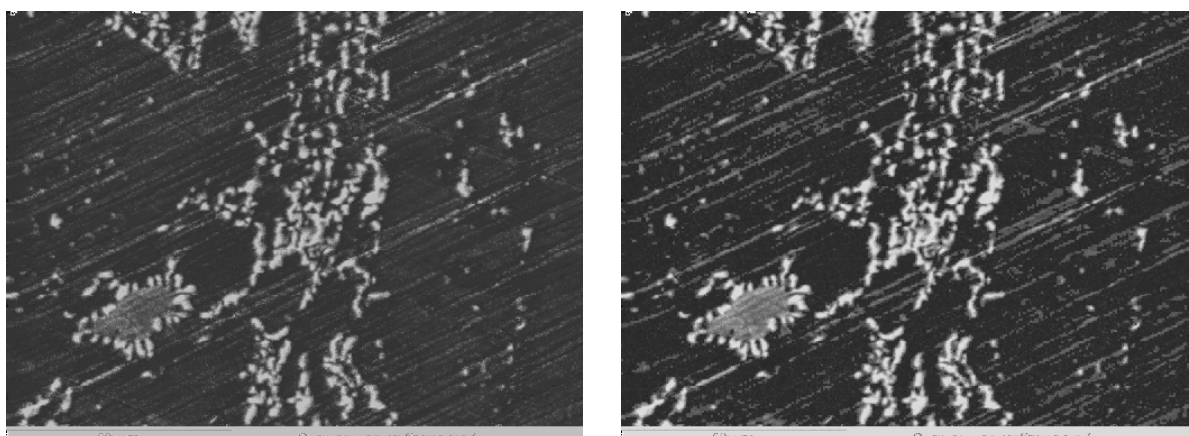
Рисунок 3 - Попередня обробка: а – АОСП; б – еквалізація гістограми



а

б

Рисунок 4 - Сегментація зображення: а – на основі формул (3) – (6),
б – модифікований метод (3), (4), (9), (10)



а

б

Рисунок 5 - Модифікований метод сегментації за формулами:
а – (9), (10); б – (11), (12)

Висновки:

- застосування нечітких множин типу-2 дозволяє підвищити чутливість сегментації слабкоконтрастних зображень;
- апріорна інформація про об'єкти інтересу та методи передобробки вихідних даних підвищують ефективність алгоритму;
- на ступінь деталізації результату сегментації впливає спосіб формування функції приналежності типу-2 та коефіцієнтів перетворення;
- адаптивний розрахунок параметрів переходу в простір типу-2 забезпечує можливість створення автоматизованої системи фотометричного аналізу характеристик сплаву.

ЛІТЕРАТУРА

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение: современный подход / Форсайт Д., Понс Ж.; [пер. с англ. А.В. Назаренко, И. Ю. Дорошенко]. – М.;– С.-П.; –К: Вильямс, 2004. – 926 с.
2. Bezdek J.C. A Convergence Theorem for The Fuzzy ISODATA Clustering Algorithms / Bezdek J. C. // IEEE Transaction On Pattern Analysis And Machine Intelligence. – 1980. – Vol. 2, – № 1. – P. 1-8.
3. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
4. Ахметшина Л. Г. Сегментация мультиспектральных изображений на основе метода нечёткой кластеризации / Ахметшина Л. Г. // В сб. научных трудов НГАУ. – 2000. – Т. 1, – № 9. – С. 90-93.
5. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. Inf. Sci. (1975), 8, 199–249.
6. F.C.H. Rhee, C. Hwang, A Type-2 fuzzy c means clustering algorithm, in: Proc. in Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference 4, 2001, pp. 1926–1929.
7. Deepali Aneja, Tarun Kumar Rawat. Fuzzy Clustering Algorithms for Effective Medical Image Segmentation I.J. Intelligent Systems and Applications, 2013, 11, 55-61
8. L. Akhmetshina, A. Yegorov. Improvement of Grayscale Images in Orthogonal Basis of the Type-2 Membership Function // CMIS-2021: The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, April 27, 2021, Zaporizhzhia, pp.465-474.
9. Hamid R. Tizhoosh. Type II Fuzzy Image Segmentation
<https://www.researchgate.net/publication/284004722>

REFERENCES

1. Forsayt D., Pons ZH. Komp'yuternoye zreniye: sovremennyy podkhod Forsayt D., Pons ZH.; [per. s angl. A.V. Nazarenko, I. YU. Doroshenko]. – М.;– С.-П.; –К: Vil'yams, 2004. – 926 s.
2. Bezdek J. C. A Convergence Theorem for The Fuzzy ISODATA Clustering Algorithms / Bezdek J.C. // IEEE Transaction On Pattern Analysis And Machine Intelligence. – 1980. – Vol. 2, – № 1. – P. 1-8.
3. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.

4. Akhmetshina L. G. Segmentatsiya mul'tispektral'nykh izobrazheniy na osnove metoda nechetkoy klasterizatsii / Akhmetshina L. G. // V sb. nauchnykh trudov NGAU. – 2000. – T. 1, – № 9. – S. 90-93.
5. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. Inf. Sci. (1975), 8, 199–249.
6. F.C.H. Rhee, C. Hwang, A Type-2 fuzzy c means clustering algorithm, in: Proc. in Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference 4, 2001, pp. 1926–1929.
7. Deepali Aneja, Tarun Kumar Rawat. Fuzzy Clustering Algorithms for Effective Medical Image Segmentation. I.J. Intelligent Systems and Applications, 2013, 11, 55-61
8. L. Akhmetshina, A. Yegorov. Improvement of Grayscale Images in Orthogonal Basis of the Type-2 Membership Function // CMIS-2021: The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems, April 27, 2021, Zaporizhzhia, pp.465-474.
9. Hamid R. Tizhoosh. Type II Fuzzy Image Segmentation
<https://www.researchgate.net/publication/284004722>

Received 19.04.2022.

Accepted 22.04.2022.

Fuzzy type-2 in the task of increasing the reliability of image segmentation

To study the macro- and microstructure of alloys, enlarged images of specially prepared samples are used, which leads to increasing of the noise component and defects contribution. This requires the usage of image correction techniques to ensure the accuracy of photometry. This paper describes the possibilities of increasing the reliability of image segmentation and the clarity of identifying the boundaries of objects of interest through the usage at the stage of fuzzification the membership functions of type-2. The presented algorithm contains 3 steps. On the first step initial image is preprocessed in the next way: at first, the brightness of the initial image is decreased proportionally on the base of the power transformation usage; after that background restoration and alignment process is performed; after the end of this process the brightness of obtained image is increased proportionally on the base of the power transformation usage. On the second step of the proposed algorithm the image obtained after preprocessing is interpreted as membership function of type-1 and membership function of type-2 is calculated on the base of this image taking into account its brightness characteristics. On the last step of the proposed in this paper algorithm the output image is formed on the base of the membership function of type-2. During calculating of the output image, we are performing its contrast enhancement. This paper proposes different ways of calculating member-

ship function of type-2 and forming of the resulting image and compares the obtained results. The proposed method of adaptive calculation of the parameters of the transition to the type-2 space provides increased reliability and clarity of detection of object boundaries. Experimental results are given on the example of a real image of an electron microscope of an iron alloy sample and show the effectiveness of the proposed approach.

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

Єгоров Артем Олександрович – старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

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

Yegorov Artyom Alexandrovich – Senior Lecturer of Computer Science and Information Technologies Department, Oles Honchar Dnipro National University.

В.О. Дзензерський, С.В. Плаксін, Л.М.Погоріла

**ВИСОКОШВИДКІСНИЙ НАЗЕМНИЙ ТРАНСПОРТ
НА ОСНОВІ МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ З ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯМ
ВІД РОЗПОДІЛЕНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ
З ПЕРСПЕКТИВНИМИ ЕНЕРГОНАКОПИЧУВАЧАМИ**

Анотація. Поступальне зростання економіки будь-якої країни передбачає розвиток високошвидкісного транспорту для задоволення потреби соціуму в скороченні часу, потрібного на переміщення людей і вантажів. Серед різних видів високошвидкісного наземного транспорту саме магнітолевітаційний транспорт (магнітоплани) визнаний найбільш перспективним, тому й дослідження пов'язані з удосконаленням цього виду транспорту є актуальними. Робота присвячена інтеграції трьох перспективних наукових напрямків/технологій: магнітолевітаційного транспорту, фотоелектричного перетворення енергії та фазометричної радіонавігації. Саме ця інтеграція, тобто сутнісне взаємопроникнення трьох вказаних підсистем, дає в результаті несумарний синергетичний ефект. Досягнення цілей сталого розвитку народногосподарського комплексу у межах традиційних транспортних і енергетичних технологій є проблематичним, оскільки енерговитрати транспортних систем перевищують третину споживаної енергії, а найшвидший вид транспорту – повітряний є одним із провідних забруднювачів атмосфери. Тому метою даної роботи є обґрунтування перспективного шляху вирішення цієї проблеми за рахунок об'єднання в єдиній системі технологій поновлюваної енергетики та магнітолевітаційного транспорту. У роботі задіяні методи системного аналізу і декомпозиції, статистичного аналізу сонячної інсоляції, радіофізичного експерименту, комп'ютерного моделювання фотоелектричних перетворювачів енергії, алгоритмізації процесів поточного контролю і прогнозування стану енергонакопичувачів. Результатом проведених досліджень є розробка фізико-технічних основ для удосконалення магнітолевітаційного транспорту. Висновок: за рахунок об'єднання в єдиній системі технологій поновлюваної енергетики та магнітолевітаційного транспорту можливо створення системи всепогодного гарантованого електроживлення на основі сонячної енергії та надійної прецизійної швидкодіючої системи керування в режимі реального часу.

Ключові слова: високошвидкісний наземний транспорт, магнітна левітація, енергозабезпечення, розподілена фотоелектрична енергосистема, енергонакопичувачи, фазометрична радіонавігація, швидкодіюча система керування.

Постановка проблеми. Поступальне зростання економіки будь-якої країни передбачає розвиток високошвидкісного транспорту для задоволення потреби соціуму в скороченні часу, потрібного на переміщення покупців та безліч товарів. У межах традиційних транспортних і енергетичних технологій досягнення цілей сталого розвитку народногосподарського комплексу є проблематичним, оскільки енерговитрати транспортних систем перевищують третину споживаної енергії, а найшвидший вид транспорту – повітряний – є одним із провідних забруднювачів атмосфери. Тому **метою** даної роботи є обґрунтування перспективного шляху вирішення даної проблеми за рахунок об'єднання в єдиній системі технологій відновлюваної енергетики та магнітолевітаційного транспорту, адже саме магнітоплани визнані найперспективнішим видом високошвидкісного наземного транспорту.

Аналіз останніх результатів досліджень і публікацій. В даний час у світі існує більше двох десятків проектів магнітолевітаційних транспортних систем, декілька функціонуючих низькошвидкісних доріг та двох високошвидкісних ліній у Китаї та Японії. У 2004 році в Шанхаї була відкрита перша комерційна лінія МАГЛЕВ, виготовлена з використанням німецької технології Transrapid: Шанхай – аеропорт Пудонг (30 км) [1]. У лютому 2016 року в Південній Кореї з'явився свій магнітолевітаційний транспорт на трасі довжиною 6 км, який об'єднав аеропорт Інчхон зі станцією метро Йонгйю. Ця лінія МАГЛЕВ була розроблена Корейським інститутом машинобудування та компанією Hyundai Rotem. У грудні 2015 року Китай запустив МАГЛЕВ власного виробництва на трасі довжиною 18,55 км між Південним залізничним вокзалом міста Чанша і аеропортом. Японська лінія JR-Maglev знаходиться в стані експериментів та дослідно-експериментальної експлуатації (рис. 1).



а) носовий обтічник та секції лінійного двигуна в бокових стінках шляхопроводу



б) відсік для встановлення кріомодуля з надпровідним магнітом (4 шт. на вагон)

Рисунок 1 - Японський магнітоплан MLX01, виготовлений фірмою JR-Maglev, на тестовому полігоні в префектурі Яманаші

Викладення основного матеріалу досліджень. Інтерес до магнітолевітаційного (МАГЛЕВ) транспорту у світі все зростає [2 – 4]. Подальше нарощування технологічного/комерційного успіху високошвидкісних транспортних МАГЛЕВ-засобів (магнітопланів) науковці різних країн світу вбачають на шляхах удосконалення і систем магнітного підвісу, і лінійного електроприводу, і системи бортового енергозабезпечення, але, насамперед – розробки ефективної системи управління рухом та підвісом магнітоплану [5, 6].

Магнітоплани рухаються за допомогою спеціалізованого електроприводу – лінійного двигуна, вмонтованого в шляхову структуру магнітолевітаційної траси (рис. 2).



Рисунок 2 - Трифазні обмотки лінійного двигуна, вмонтовані в бокові стінки шляхової структури

Це досягається шляхом включення по черзі певних тягових секцій у відповідні моменти часу (рис. 3).

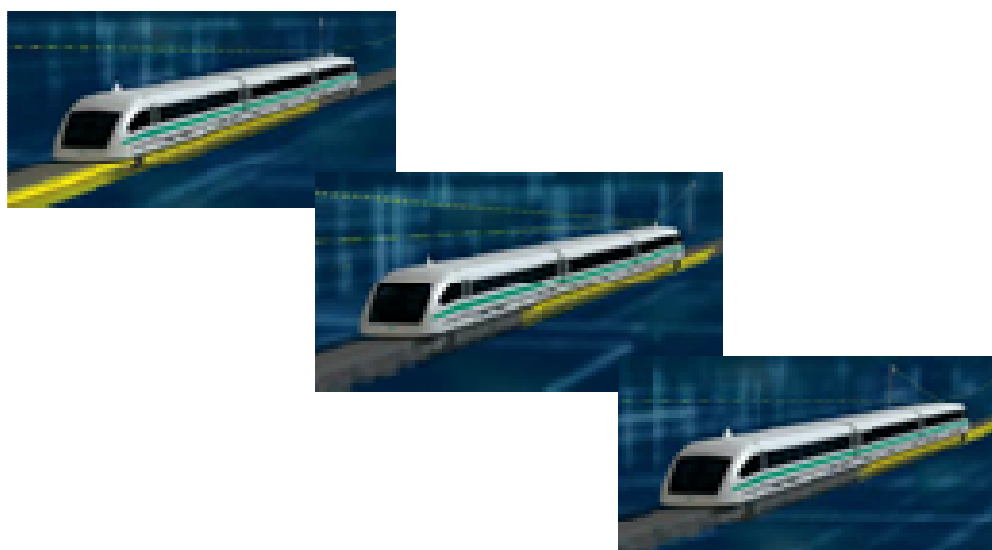


Рисунок 3 - Перемикання тягової секції за сигналами радіонавігаційної системи

Підвіс вагонів (левітація) здійснюється за допомогою магнітної взаємодії між бортовими магнітами (у нашому варіанті вони є надпровідними) та магнітами, які вмонтовані в шляхопровід, через або притягнення (як у німецько-китайській варіанті), або відштовхування (як в українському та японському варіантах).

Хоча в ряді країн, наприклад, в Японії, Китаї, Південній Кореї, вже діють різні магнітолевітаційні проекти, ціла низка наукових проблем, пов'язаних із забезпеченням надійності таких високошвидкісних «польотів» наземного транспорту (зрештою, швидкості руху – близько 500 км/год!), залишається актуальною. Серед них: точність позиціонування таких високошвидкісних об'єктів, гарантованість електроживлення тягових секцій і бортової апаратури, енергоефективність електроприводу та вплив на навколишнє середовище. Актуальність цієї тематики знайшла своє відображення також і в пріоритетах Рамочних програм Євросоюзу по розвитку науки, яка включають, наприклад, такий напрямок, як «Високошвидкісний наземний транспорт, заснований на екологічно чистих раціональних енергосистемах» [7].

Що стосується цього специфічного типу електричного транспорту, в наших роботах показано, що сонячний потенціал України дозволяє повністю забезпечити його «чистою» енергією (рис. 4).



Рисунок 4 - Сонячний потенціал України повністю задовольняє потреби магнітолевітаційного транспорту [8]

Цей перехід до джерела електроживлення МАГЛЕВ-транспорту від фотоелектричної енергетичної системи, розподіленої уздовж траси, дозволяє кардинально перестроїти систему управління рухом МАГЛЕВ-поїздів. Принципово інша архітектура побудови МАГЛЕВ-траси – не з довгих секцій з трифазними силовими обмотками, що використовуються зараз, а з дискретних коротких котушок, які одночасно є і тяговими котушками лінійного двигуна, і складовим елементом (навантаженням) сонячної шляхової енергоустановки, розміщеної уздовж шляхопроводу, дозволяє досягнути сутнісної інтеграції та взаємоузгодженої комбінації двох способів магнітної левітації – електромагнітного та електродинамічного. Така побудова робить можливим незалежне автономне живлення кожної шляхової котушки та автономне управління нею з можливістю перемикання або в тяговий режим, або в режим левітації [9]. У той же час, досягається значне збільшення точності позиціонування поїздів, що рухаються зі швидкістю більш 500 км/год. Авторами розроблена система управління рухом магнітоплану на базі прецизійної фазометричної радіонавігаційної системи, інтегрованої з фотоелектричною системою його енергозабезпечення (рис. 5), яка дозволяє визначати місце розташування екіпажу на магнітному підвісі з точністю 10–20 см при швидкостях руху близько 500 км/год і здійснювати управління тяговими секціями лінійного двигуна синхронно з проходженням над ними магнітоплану.

Для підвищення ефективності сонячної енергосистеми були проведені дослідження, спрямовані на покращення як характеристик її компонентів, так і балансу системи в цілому. Зокрема, проведено комп'ютерне моделювання сонячних модулів перспективних конструкцій. Справа в тому, що сонячні елементи кремнію, що традиційно використовуються в фотоенергетиці, практично вичерпали свій потенціал. Найважливішим кроком у розвитку фотоенергетиці була поява сонячних елементів на основі гетероструктур. Нами був проведений комп'ютерний експеримент, в якому з використанням програми Silvaco TCAD [10] були змодельовані механічно зістиковані сонячні елементи на основі гетероструктур та сонячні елементи з двостороннім покриттям наночастинками алюмінію (рис. 6, 7).

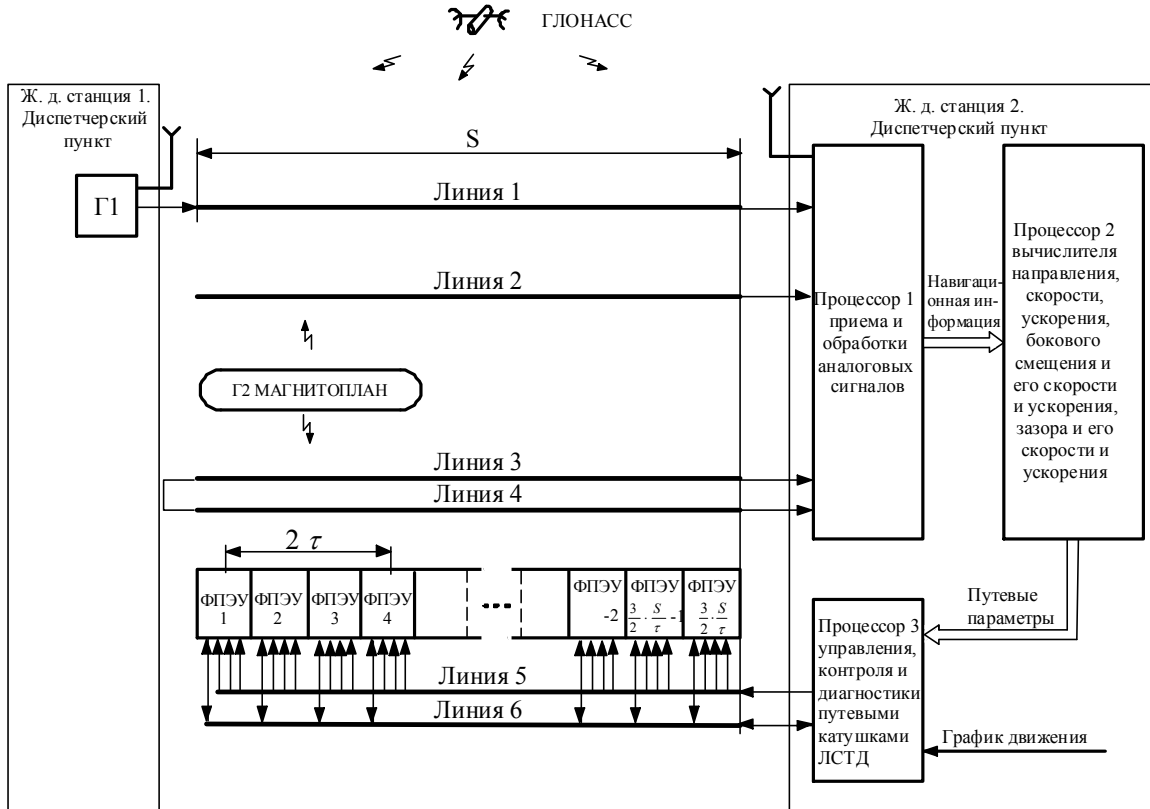


Рисунок 5 - Схематичне зображення системи точного управління МАГЛЕВом з живленням від сонячної енергії [8]

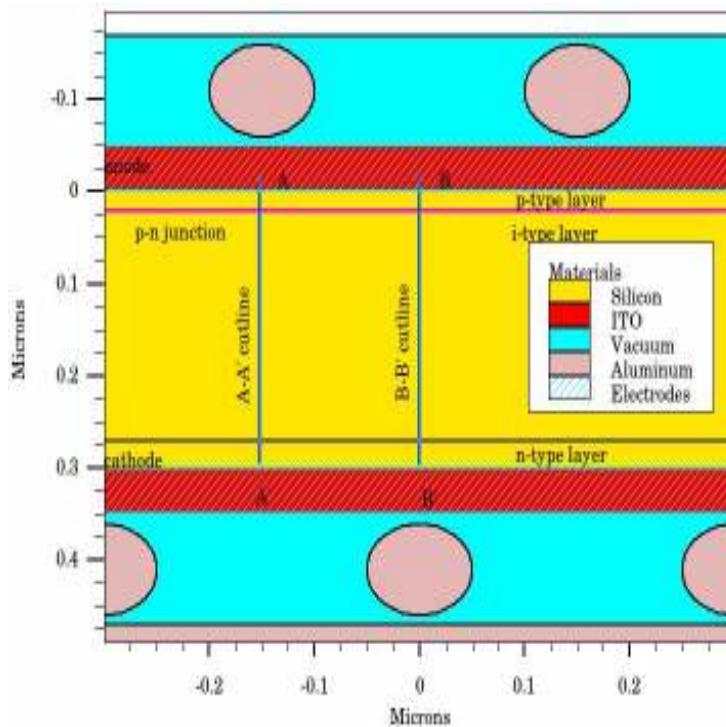


Рисунок 6 - Двовимірна модель сонячного елемента в Silvaco TCAD

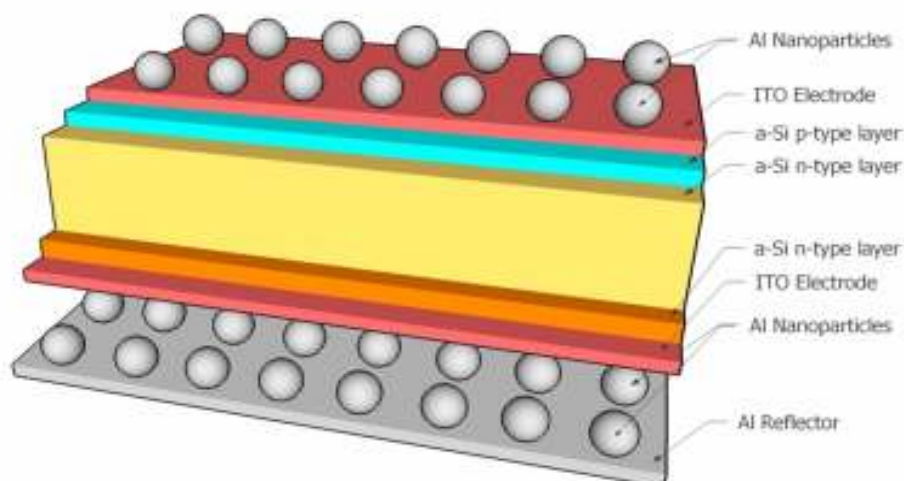


Рисунок 7 - Сонячний елемент з двобічним покриттям наночастинками

Моделюється поширення під прямим кутом електромагнітного випромінювання, інтенсивність якого в діапазоні довжин хвиль від 300 нм до 750 нм відповідає умовам освітлення АМ 1,5.

Інтенсивність випромінювання в структурі сонячного елемента розраховано методом FDTD. Електричні характеристики сонячного елемента розраховано в рамках дифузійно-дрейфової моделі переносу зарядів. На основі розрахунку вольт-амперних характеристик визначені залежності від радіусу наночастинок та відстані між наночастинками базових параметрів сонячного елемента: струму короткого замикання, напруги холостого ходу, коефіцієнта заповнення та коефіцієнта корисної дії. Основний результат цієї серії експериментів полягає в тому, що при радіусі наночастинок 25 нм та відстані між ними 200 нм вдається досягти максимального значення коефіцієнта корисної дії, що дорівнює 13,8 %. (рис. 8). Досягнення такого значного підвищення значення коефіцієнта корисної дії відбувається завдяки дифракції світла в активному шарі фотоелемента і формуванню зони підвищеної його інтенсивності.

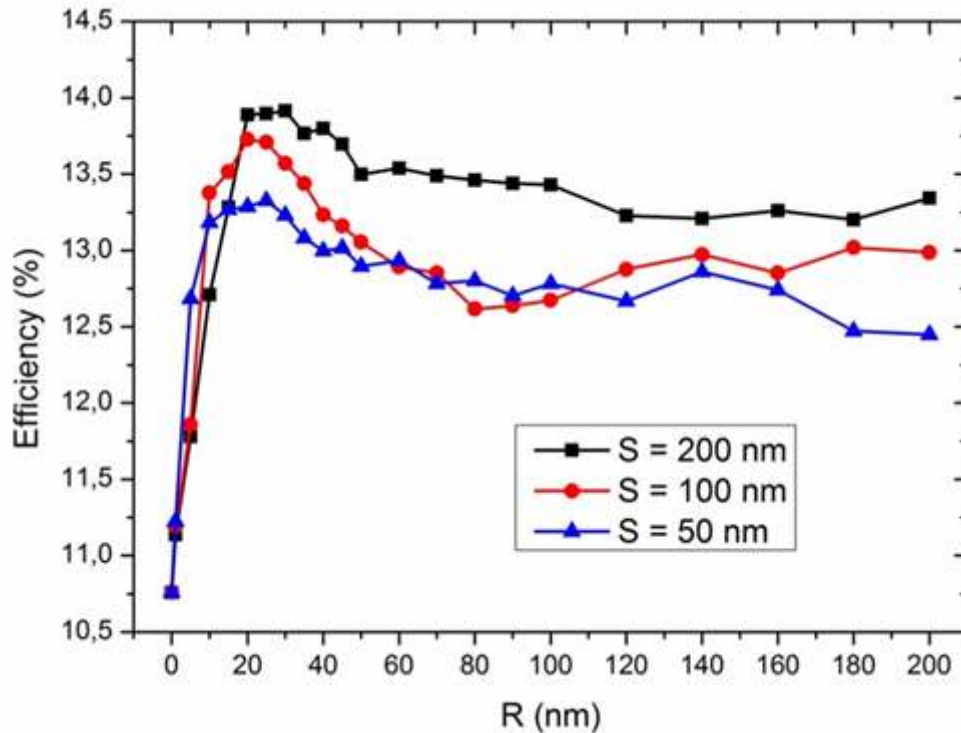


Рисунок 8 - Залежність коефіцієнту корисної дії від радіусу наночастинок

Гарантованість енергопостачання магнітолевітаційного транспорту зростає в разі використання сонячних космічних електростанцій, оскільки вони виведені за межі атмосфери Землі (рис. 9) і енергія, що поставляється на землю, не залежить ні від яких погодних умов.

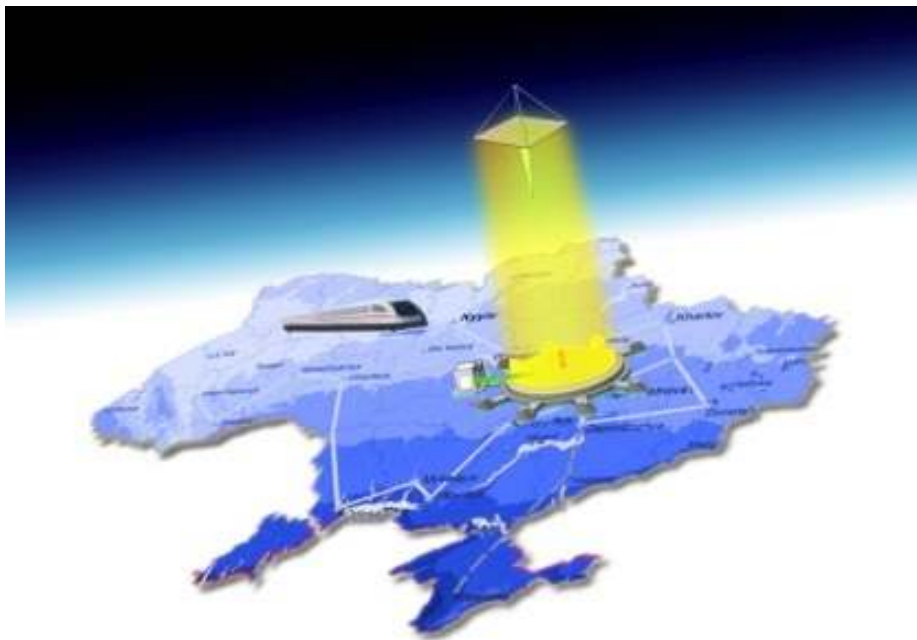


Рисунок 9 - Орбітальний фрагмент енергетичної системи Маглева

При існуючому рівні розвитку космічних технологій будівництво сонячної космічної електростанції потребуватиме великих витрат. Подолати ці труднощі можливо на основі сучасних досягнень у фізиці напівпровідників та радіофізики. В радіоелектронному обладнанні в якості малогабаритних генераторів надвисокочастотних коливань широко використовується діоди Ганна. Невеликі розміри та вага цих напівпровідникових пристроїв роблять привабливим їх використання як одного з основних компонентів сонячної космічної електростанції для перетворення постійного струму у високочастотні коливання з метою передачі енергії на землю через мікрохвильовий промінь. В результаті цієї серії комп'ютерних експериментів встановлено, що для інжектора, який складається з 10 шарів $In_{1-x-y}Al_xGa_yAs$ товщиною 0,001 мкм кожний (рис. 10) при напрузі на аноді 4 В діод Ганна виходить до стабільного режиму роботи з частотою коливань 106 ГГц.



Рисунок 10 - Моделювання діода Ганна зі ступінчастим інжектором гарячих електронів на основі шарів InAlGaAs

Передача енергії з космосу доцільна саме на таких частотах, виходячи з наявності так званого вікна прозорості в атмосфері, в області якого згасання енергії помітно слабшає, як це видно з графіка на рис. 11.

Завершується цей цикл досліджень роботами по моделюванню електродинамічних систем для випромінювання та фокусування мікрохвильового

променю. На рис. 11 показано базовий елемент мікросмугової антенної решітки та діаграма направленості всієї антенної решітки.

Функціонування систем, які використовують джерела відновлюваної енергії, відбувається в умовах принципової неможливості усунення невизначеності доступної енергії, що призводить до необхідності використання «енергодемпферів» – акумуляторів. Але слід зазначити, що роль цієї невизначеності дещо перебільшена. Хоча енергія вітру та сонця дійсно змінюється, але ці зміни передбачувані, оскільки хоча би протягом наступних двох днів можливо передбачити, наскільки вітряна та сонячна буде погода.

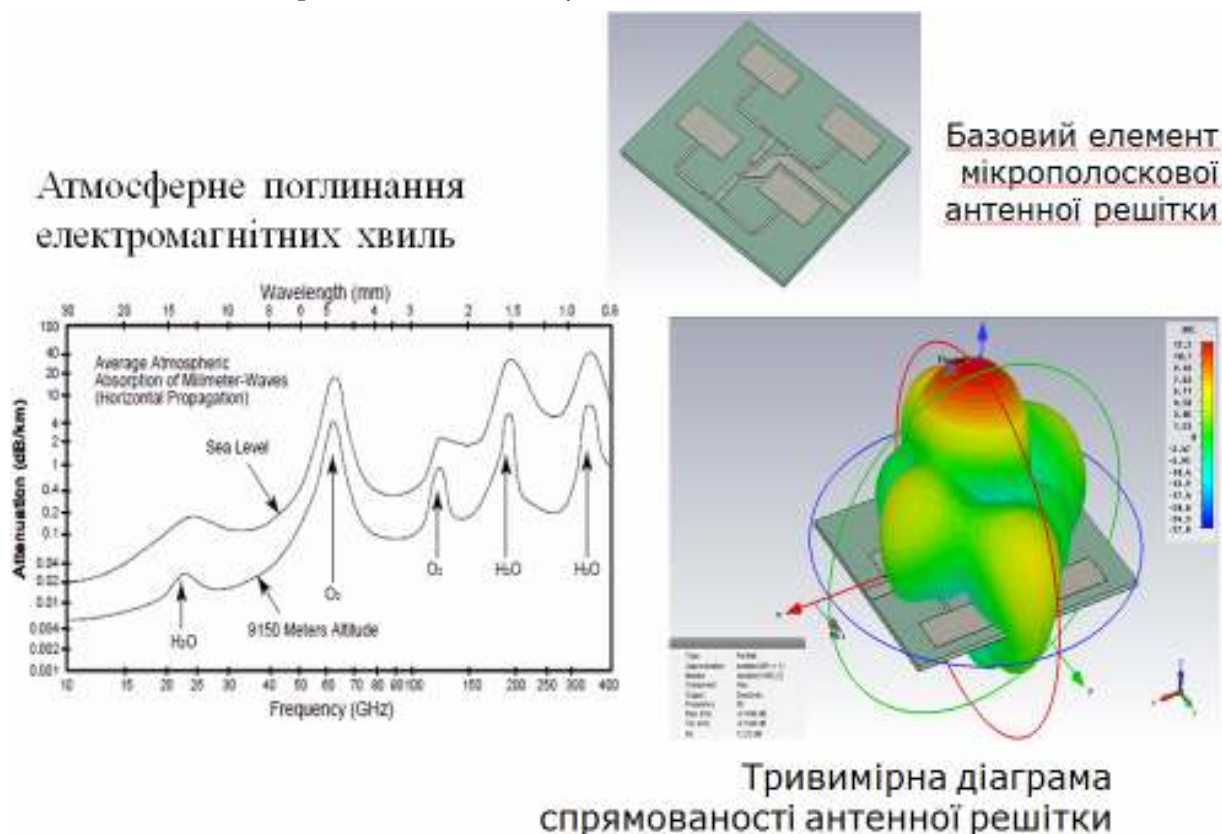


Рисунок 11 - Комп'ютерне моделювання антенної решітки

Особлива роль у таких енергетичних системах належить акумуляторам-накопичувачам. Накопичувачі електроенергії не лише дозволяють забезпечити автономність енергопостачання, але є ключовою ланкою в енергетичних системах на основі відновлюваних джерел енергії. Використання накопичувачів, організованих певним чином, дає можливість забезпечити повноцінне функціонування всього електротехнічного комплексу магнітолевітаційного транспорту на території України (див. рис. 4) повністю за рахунок сонячної енергії.

Не тільки для МАГЛЕВ-транспорту, а й взагалі в енергетиці застосовуються накопичувачі великої енергоємності для вирівнювання коливань у регіональних електромережах. Навіть запроваджено термін – «віртуальна електростанція». Для керування такими великими масивами накопичувачів в рамках наших досліджень створено алгоритм моніторингу (на базі запропонованого раніше імпульсного гальваностатичного методу) електрохімічних накопичувачів енергії на основі свинцево-кислотних джерел струму при їх експлуатації на транспортних засобах, що дає змогу здійснювати поточний контроль та прогнозування стану накопичувачів без порушення штатного режиму роботи системи електроживлення.

Висновки. Таким чином, результатом проведених досліджень є розробка фізико-технічних основ створення надійної прецизійної швидкодіючої системи керування МАГЛЕВ-транспортом, що функціонує в масштабі реального часу і має всепогодну систему гарантованого електроживлення на основі сонячної енергії.

Здійснення такого проекту могло б стати локомотивом зростання всієї економіки України, оскільки призвело б до розвитку суміжних галузей, а також розширення виробництва електротехнічних та мікроелектронних компонентів, а отже, до створення нових робочих місць.

Можна з упевненістю стверджувати, що ці результати в період післявоєнного розвитку народного господарства дозволять розпочати здійснення в Україні міжгалузевого інноваційного проекту загальнонаціонального масштабу зі створення високошвидкісних наземних транспортних коридорів типу «шовковий шлях» на екологічно раціональних енергосистемах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шанхайский маглев. URL: <http://www.shanghai.ru/shanghai-maglev.html> (дата звернення 17.05.2022).
2. Fritz, E.. Energy Consumption of Track-Based High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. / E. Fritz, J. Kluhspies, R. Kircher, M. Witt, L. Blow // Transportation Systems and Technology. 2019. 4(3). С. 134-155. DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst201843s1134-155>.
3. Kircher, R. Electromagnetic Fields of High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail / R. Kircher, R. Palka, E. Fritz, K. Eiler, M. Witt, L. Blow, J. Klühspies // The International Maglev Board. 2018. Research Series 2. ISBN: 978-3-947957-01-9.

Отримано з <https://www.researchgate.net/publication/327972538>.

4. Wenk, M. Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail / M. Wenk, J. Klühspies, L. Blow, R. Kircher, E. Fritz, M. Witt, M. Hekler ISBN: 978-3-947957-00-2. Germany. DC: The International Maglev Board. 2018. 44 p.
5. Davydov, A. Monitoring of Changes in the Condition and Tendencies of Development of Maglev Transportation Systems / A. Davydov // *Transportation Systems and Technology*. 2019. 5(4). P. 5-15. DOI:10.17816/transsyst2019545-15.
6. De Oliveira, R.A.H. Design and Innovative Test of a Linear Induction Motor for Urban MagLev Vehicles / R.A.H. De Oliveira, R.M. Stephan, A.C. Ferreira, J. Murta-Pina / *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2020. 56, No 6. P. 6949-6956. DOI: 10.1109/TIA2020.3023066.
7. Horizon 2020. Work Programme 2016 – 2017. 11. Smart, green and integrated transport // *European Commission Decision* 2015. P. 6776.
8. Дзензерский, В. А. Интеграция магнитолевитационной магистрали и распределенной солнечной электростанции / В. А. Дзензерский, С. В. Плаксин, В. Г. Толдаев, Ю. В. Шкиль. Киев: Наукова думка, 2019. 244 с.
9. Муха А.М. Комбінована система розгону для тягового приводу високошвидкісного транспорту / А. М. Муха, С. В. Плаксін, Ю. В Шкіль // *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 81 Міжнародної науково-практичної конференції. м. Дніпро, 2021. Д.: ДНУЗТ, 2021. С. 78– 79.*
10. *Simulating Solar Cell Devices Using Silvaco TCAD [Text] // Simulation Standard*. 2008. Vol. 18, No 2. P. 1–3.

REFERENCES

1. Shanghai maglev. URL: <http://www.shanghai.ru/shanghai-maglev.html> (дата звернення 17.05.2022) [in Russian].
2. Fritz E., Klühspies J., Kircher R., Witt M. & Blow L. (2019) Energy Consumption of Track-Based High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. *Transportation Systems and Technology*. 4(3). DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst201843s1134-155> [in English].
3. Kircher R., Palka R., Fritz E., Eiler K., Witt M., Blow L. & Klühspies J. (2018). *Electromagnetic Fields of High-Speed Transportation Systems: Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail*. The International Maglev Board. Research Series 2. ISBN: 978-3-947957-01-9. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327972538> [in English].

4. Wenk M., Klühspies, J., Blow L., Kircher R., Fritz E., Witt M. & Hekler M. (2018) Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and Limitations of Maglev Technologies in Comparison with Steel-Wheel-Rail. ISBN: 978-3-947957-00-2. Germany, DC: The International Maglev Board [in English].
5. Davydov A. (2019) Monitoring of Changes in the Condition and Tendencies of Development of Maglev Transportation Systems. Transportation Systems and Technology. 5(4). 5-15. DOI:10.17816/transsyst2019545-15 [in English].
6. De Oliveira R. A. H., Stephan R. M., Ferreira A. C., Murta-Pina J. (2020) Design and Innovative Test of a Linear Induction Motor for Urban MagLev Vehicles. IEEE Transactions on Industry Applications. 6. 6949-6956. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA2020.3023066> [in English].
7. Horizon 2020 (2015). Work Programme 2016 – 2017. 11. Smart, green and integrated transport. European Commission Decision C 6776 of 13 October 2015 [in English].
8. Dzenzerskiy V. A., Plaksin S. V., Toldaev V. G. & Shkil Yu. V. (2019). Integration of Maglev Highway and Distributed Solar Power Plant. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
9. Mukha A. M., Plaksin S. V. & Shkil Yu. V. Combined acceleration system for traction drive of high-speed transport. Problems and prospects of railway transport development: Abstracts of the 81-st International scientific-practical conference. Dni-pro, 2021. D. : DNUZT, 2021. - P. 78 – 79 (in Ukrain).
10. Simulating Solar Cell Devices Using Silvaco TCAD (2008). Simulation Standard. 2. 1–3 [in English].

Received 21.04.2022.

Accepted 26.04.2022.

High-speed magnetolevitative land transport with power supply by distributed photoelectric energy system with perspective energy storage

Among the various types of high-speed land transport a magnetic levitation transport (magnetoplanes) is recognized as the most promising, so research related to the improvement of this type of transport is relevant. The work is devoted to the integration of three promising research technologies: magnetolevitative transport, photoelectric energy conversion and phase-metric radionavigation. It is this integration, i.e. the essential interpenetration of these three subsystems, results in an overall synergistic effect. Achieving the goals of sustainable development of the national economic complex within the framework of traditional transport and energy technologies is problematic, as energy consumption of transport systems exceeds one third of energy consumption, and the fast-

est mode of transport – an air transport is one of the leading air pollutants. Therefore, the purpose of this work is to substantiate a promising way to solve this problem by combining in a single system of renewable energy technologies and magnetolevitative transport. The methods of system analysis and decomposition, statistical analysis of solar insolation, radiophysical experiment, computer modeling of photovoltaic energy converters, algorithmization of current control processes and forecasting the energy storage devices state are involved. The result of the research is the development of physical and technical bases for the improvement of magnetolevitative transport. Conclusion: by combining in a single system of renewable energy technologies and magnetic levitation transport it is possible to create a system of all-weather guaranteed power supply based on solar energy and a reliable precision high-speed control system in real time.

Key words: high-speed land transport, magnetic levitation, power supply, distributed photovoltaic power system, energy storage devices, phase-metric radio navigation, high-speed control system.

Дзензерський Віктор Олександрович - директор Інституту транспортних систем та технологій НАН України, доктор технічних наук, професор, ORCID: 0000-0002-5504-4524

Плаксін Сергій Вікторович - завідуючий відділом Інституту транспортних систем та технологій НАН України, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8302-0186>

Погоріла Любов Михайлівна - молодший науковий співробітник Інституту транспортних систем та технологій НАН України, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3718-0733>

Dzenzersky Viktor Aleksandrovich - Director of the Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID: 0000-0002-5504-4524

Plaksin Sergey Viktorovich - Head of Department, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8302-0186>

Pogorila Lyubov Mikhailivna - Junior Researcher, Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3718-0733>

**АДАПТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ФОРМУВАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ
ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ПІДГОТОВКИ НАУКОВИХ КАДРІВ**

Анотація. Автором акцентовано увагу на актуальності збереження цілісності науково-освітнього процесу щодо підготовки кадрів вищої кваліфікації в закладах вищої освіти та наукових установах. Відмічено, що наслідки впливу форс-мажорних обставин – карантину з пандемії COVID-19 й діючого воєнного стану в Україні, спричиняють певні корективи в організації підготовки наукових кадрів. У зв'язку з цим, ймовірно, порушується проблема створення принципово нової інформаційно-аналітичної системи, що у цьому векторі включатиме специфічну базу знань відповідно запитів користувачів-дослідників – суб'єктів наукової підготовки. Таким чином, на меті статті є представлення результатів докторського дослідження, зокрема з проміжного контент-аналізу наукових, інформаційно-довідкових, навчально-методичних та інших літературних джерел та практико орієнтованих ресурсів з проблематики розвитку інформаційних технологій і систем та їх адаптивного трансферу, що сприятиме накопиченню аналітичної інформації та її оцифруванню. Наголошено на раціональності створення й використання інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем, в основу яких покладено формування специфічних баз знань засобами семантичних технологій та онтологічного моделювання. Це обумовлено існуванням великої кількості різноманітної аналітичної інформації, на основі якої актуалізується проблематика будь-якого наукового дослідження, що у контексті підготовки наукових кадрів є обов'язковим компонентом науково-освітньої діяльності здобувачів наукової освіти (магістрантів, аспірантів, докторантів та ін.). Стверджується, що сучасний дослідник вмітиме досконало володіти сучасним інструментарієм та експертними технологіями інформаційно-аналітичної діяльності. Представлено стислий опис адаптивного інструментарію, за допомогою якого відбувається формування специфічної бази знань в інформаційно-аналітичній системі підготовки наукових кадрів. Зазначено, що семантичний й онтологічний підходи є найбільш ефективними у цьому ключі для побудови інформаційних систем, зокрема тих, що стосуються розвитку інформаційно-аналітичної компетентності суб'єктів наукової освіти.

Ключові слова: інформаційно-аналітична система, підготовка наукових кадрів, база знань, інструментарій, адаптивність, семантична мережа, онтологічний підхід, експертна система, цифровізація.

Постановка проблеми. Форс-мажорні обставини сьогодення, спричинені як пандемією COVID-19 та введенням воєнного стану в Україні, так й динамічним впливом глобалізаційних трансформацій та цифровізації суспільства, актуалізують розвиток інноваційних технологій віддаленого користування інформаційно-аналітичними масивами даних. Безумовно, що інформаційно-аналітичні системи (далі – ІАС) мають відповідати сучасному рівню інформаційних технологій, що дає змогу підвищити ефективність інтерфейсу та сприяє адаптивному доступу користувачів-дослідників до необхідної аналітичної інформації. Відповідно, що аналітична інформація є основоположною частиною будь-якого дослідницького процесу. У цьому сенсі, зростаюча потреба здобувачів наукової освіти у швидкому отриманні результатів аналізу інформаційних потоків за специфікою їхньої науково-освітньої діяльності, зумовлює необхідність розроблення нової методології побудови інформаційно-аналітичної системи підготовки наукових кадрів (далі – ПНК) у закладах вищої освіти (далі – ЗВО) і наукових установах (далі – НДІ). Така цифрова ІАС уможливлуватиме для користувачів-дослідників адаптивне отримання даних (знань), які забезпечуватимуть оперативний пошук аналітичної інформації, особливо такої, що в мережі Інтернет, важко ідентифікувати. Саме така проблема вимагає узгодження стандартних способів ідентифікації частин цифрової інформації (метаданих) та розробки кодів (HTML, SGML), що ймовірно вставлятимуться в електронні тексти. Вивчення запитів користувачів, насамперед здобувачів наукової освіти, наукових працівників, провідних учених, свідчить про необхідність розроблення теоретико-методологічних і науково-методичних засад побудови нових або модернізації вже існуючих ІАС у ЗВО/НДІ (в основному таких, що базуються на паперово-електронному документообігу або взагалі мають тільки паперові аналоги, або на пів автоматизовані тощо) на основі цифровізації науково-освітнього процесу. До того ж для вирішення завдань пошуку щодо накопичення та застосовування інформаційно-аналітичних масивів використовуватимуться відповідні цифрові інструменти та ресурси.

Інформаційні технології, як потужний інструментарій розробки, функціонування та підтримки інформаційних систем, дають змогу задля адаптивного трансферу накопиченої аналітичної інформації в цифрову (електронну) форму, що обумовлюватиме перехід до побудови принципово нового типу ІАС. Це уможливлуватиме об'єднання інформаційно-аналітичних масивів у репозиторії, бази даних (далі – БД), бази знань (далі – БЗ), е-бібліотеки тощо,

які у проекції на науково-освітній простір стають системним комплексом електронних (цифрових) освітніх ресурсів (далі – ЕОР/ЦОР) з інформаційної аналітики. У той же час, застосування інформаційної аналітики у системі підготовки кадрів вищої кваліфікації є завжди необхідним і не втрачає актуальності при здійсненні досліджень. Зокрема раціональним у цьому контексті здається використання інтелектуальних ІАС на основі сформованих специфічних БЗ. Це пов'язано із різноманітністю аналітичної інформації, на основі якої актуалізується проблематика наукових досліджень, відповідно й з організації науково-освітнього процесу, схиляючись до того, що будь-яка підготовка наукових кадрів – це, у першу чергу, цілеспрямоване навчання дослідників, аналітиків, суб'єктів наукової праці, які володіють сучасним інструментарієм та технологіями інформаційно-аналітичної діяльності.

Таким чином, актуальність розроблення проблеми з формування БЗ ІАС ПНК зумовлює потребу у вивченні досвіду науки, зокрема – інженерної, у векторі розгляду певних методологічних підходів, визначення адаптивного інструментарію, розроблення теоретико-методологічних і науково-методичних засад побудови або модернізації віртуальних цифрових середовищ засобами ЕОР/ЦОР щодо їх функціонування в реальному часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказує на те, що проблемі інноватизації проектування, функціонування й підтримки інформаційних систем, зокрема – їх БЗ, засобами ЕОР/ЦОР, та візуалізації їх контенту, присвячено науковий доробок таких вітчизняних дослідників, як: К. Боскебеєв, В. Величко, О. Гура, М. Климова, В. Лахно, А. Палагін, М. Пікуляк, С. Семенчук, Ю. Тіхонов, П. Федорук та ін. Ними розглянуто деякі аспекти онтологічного опису предметних дисциплін; застосування онтологічного підходу з контролю знань; графічного представлення онтології предметних дисциплін та ін. У цьому контексті багато дослідників більш поглиблено наводять характеристику певних інформаційних і експертних систем, розглядають питання оптимізації системних ресурсів для ефективною підтримки прийняття рішень, актуалізують розроблення БЗ та окреслюють умови їх використання в освітньому процесі, у т. ч. засобами онтологічного моделювання (І. Баклан [1], С. Вахнюк [2], П. Жук [3], С. Зибін [4], В. Плескач й Ю. Рогушина [8; 9; 10], С. Семеріков й І. Теплицький [12] та ін.). Зарубіжними дослідниками також вивчено багато аспектів з цієї проблеми (В. Вінівотер, М. Вонг, Г. Волберг, С. Крет, Р. Мекніел, А. Морріс, Р. Павел, Д. Рейлі, М. Рейнолдс, К. Сміт, Е. Старфілд, Д. Форей, Дж. Хейберт, ін.) та розкрито певні засади функціонування БЗ, призначених

для сфери освіти, виокремлено причини застосування тих чи інших підходів до впровадження БЗ, розглянуто ефективні програмні продукти з розробки та обслуговування БЗ тощо. Тобто, вченими визначено, що для роботи із нетехнічними об'єктами дослідження, а також задля раціонального прийняття рішень найбільш адекватними є нечіткі моделі, оскільки точні та стохастичні моделі потребують строго формалізованої та розподіленої інформації, котра для нетехнічних об'єктів не завжди може бути наявна, або представлена у потрібному вигляді. Наприклад, мова йде про те, що використання нечітких моделей зумовлює представлення даних у вигляді нечітких множин, величин, чисел, нечітких математичних висловлень та нечітких лінгвістичних висловлень.

Зауважимо, що значущим аспектом у цьому сенсі стає використання семантичних технологій у векторі автоматизації обробки концептуальних знань. Особливо багатозначним є виділення специфічного різновиду таких технологій – онтологічних. Тобто мова йдеться про онтологічне моделювання, що забезпечує створення формалізованих цифрових моделей знань [23; 24; 27] Дійсно, появою семантичної мережі спричинено виникнення онтології, що стає однією із суттєвих парадигм репрезентації наукового знання [7]. Крім того, онтологічному підходу, зокрема проблематиці комп'ютерних онтологій, присвячено чимало наукових праць таких дослідників, як: Т. Грубер, Т. Джеффри, Ю. Дін, І. Зуре, В. Любченко, Л. Найханов, А. Наріньяні, С. Ніренбург, Н. Ной, А. Палагін, Ю. Рогушина, С. Субботін, Д. Фор та ін. Проте, нині напрям розроблення методології побудови ІАС у контексті онтологічного підходу, має більш фрагментарну опрацьованість в науці та на практиці, тому є одним із перспективних векторів нашого дослідження (методологія побудови інтелектуальної ІАС), що включатиме інтелектуальні аспекти обробки аналітичної інформації засобами онтологічної БЗ.

Відтак, аналіз результатів з вивчення проблеми зі створення, використання, функціонування й підтримки ІАС в освітньому процесі (ймовірно й її БЗ), зокрема у підготовці наукових кадрів, засвідчує, що на сьогодні у науці є обґрунтованою доцільність їх впровадження в науково-освітній процес ЗВО і НДІ. У такий спосіб прогнозовано головні напрями майбутніх досліджень, розглянуто адаптивне програмне забезпечення, орієнтоване на формування та використання БЗ в Еко-середовищі ІАС-ПНК. Втім, слід зазначити, що також нині відмічається недостатній рівень розробленості теоретичних і прикладних аспектів методології побудови ІАС-ПНК в умовах цифровізації, зокрема

відповідних її структурі моделей специфічних БЗ, ергономічного інтерфейсу її взаємодії із користувачем-дослідником тощо.

Мета дослідження – представити проміжні результати наукового дослідження, які отримано шляхом аналізу адаптивного інструментарію з формування специфічної БЗ ІАС-ПНК в умовах цифровізації на засадах семантичного та онтологічного підходів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Традиційно пошукові запити користувачів-дослідників у системі підготовки наукових кадрів може бути здійснено за внутрішніми структурними взаємопов'язаними компонентами БД ІАС-ПНК та зовнішніми виходами з неї до вже існуючих виокремлено БД. Це спрощуватиме вирішення певних типових формалізованих завдань, що повторюються в умовах оперативного функціонування системи. Звісно, що БД містять, як правило, певні нормативно-правові та інструктивно-методичні документи, моделі та формалізовані алгоритми, визначені в межах специфічної предметної галузі. Проте, подібні БД, що нині створено в ЗВО/НДІ, не завжди є раціональними, особливо в системах із нечітким описом інформаційних даних, до яких можна віднести й ІАС-ПНК, котру обґрунтовано вважатимемо соціально-педагогічною або соціально-андрагогічною системою. Також у теперішній час, в унісон традиційному інформаційно-аналітичному забезпеченню БД, слід зауважити, що переважно випереджальний розвиток отримують все ж такі БЗ, побудова яких відбувається за методологією штучного інтелекту із застосуванням спеціальних мов опису знань та інтелектуального інтерфейсу. На нашу думку, ІАС-ПНК включатиме певні специфічні БЗ, де їх змістовне наповнення вже визначально подане так, щоб дати змогу користувачам-дослідникам здійснити певні міркування та відповідно засобами онтологій та спеціальних програм отримати адекватні висновки, навіть уможливаючи для них доступ до інформаційних ресурсів, явно відсутніх у БЗ. Світова практика формування БЗ засобами ЕОР/ЦОР, зокрема – в Еко-середовищі ІАС, підтверджує закономірність застосування певних інтелектуальних систем, побудованих на основі БЗ, формування яких відбувається зі залученням відповідних інформаційних технологій – таких програмних засобів, як:

1. Оболонки експертних систем (далі – ЕС) – CLIPS (FuzzyCLIPS, DYNACLIPS, WxCLIPS), SOAR, OPS83, RT-EXPERT, MIKE, BABYLON, WindExS, ES; ACQUARE, Easy Reasoner, ECLIPSE, EXSYS Professional, SIMER+MIR, АТТЕХНОЛОГІЯ, CAKE v2.0. Характеристику певних з них наведено у таблиці 1.

Інформаційний аналіз програмних засобів «Оболонки експертних систем»

№	Оболонка	Стислий опис
1	2	3
1.	<p>CLIPS</p> <p>DYNACLIPS</p> <p>FuzzyCLIPS</p>	<p>C Language Integrated Production System – мова програмування Сі, інтегрована із продукційними системами (зі своїм способом подання знань, гнучкої і могутньої мови і декількох допоміжних інструментів). Факти – одна із основних форм подання інформації в CLIPS. Механізм логічного виведення CLIPS включає супровід, динамічне додавання правил і стратегій вирішення протиріч. Користувач застосовує множину вже готових інструментів (убудований механізм керування БЗ, механізм логічного висновку, менеджери різних об'єктів CLIPS) і конструкцій (упорядковані факти, шаблони, правила, функції, родові функції, класи, модулі, обмеження, убудована мова COOL) [1; 8; 12; 16; 17].</p> <p>Динамічні утиліти CLIPS включають дошку оголошень, механізм динамічного обміну знаннями й інструментальні засоби для CLIPS v5.1 і v6.0 [8, с. 78-79].</p> <p>Базується на правилах та використовується для подання і керування нечіткими фактами і правилами, обробляє нечіткі та неточні знання, складні міркування, а також використовує дві базисні концепції про неточності, нечіткість і невизначеність [13; 14; 20; 21].</p> <p>Розробник: Центр космічних досліджень NASA (NASA's Johnson Space Center, 1984).</p>
2.	Jess	<p>Java Expert System Shell – оболонка експертних систем та мова сценаріїв на Java, що є нащадком CLIPS (уможливлює створення програмного забезпечення, що досліджує знання у вигляді декларативних правил [22].</p> <p>Розробник: Національна лабораторія Сандія Лівермор, Каліфорнія (Sandia National Laboratories).</p>
3.	SOAR	<p>Інтегрована архітектура агента, що підтримує навчання за допомогою фрагментації (CParaOPS5, TAQL (мова отриман-</p>

		<p>ня завдань), режим soar для GNU Emacs, графічний дисплей SoarX і SoarSIM (інструмент створення моделювання для Soar) [25].</p> <p>Розробник: Школа комп'ютерних наук Університету Карнегі-Меллон (The Soar Group School of Computer Science Carnegie Mellon University).</p>
4.	OPS83	<p>OPS-сімейство мов подання знань реалізує продукційні системи з прямим виведенням. В OPS-83 необхідно явно вказувати, яке правило вибрати у кожній конфліктній ситуації [8, с. 79].</p>
5.	RT-EXPERT	<p>Дає змогу програмістам C інтегрувати правила ЕС в прикладні програми на мові C або C++. До складу входить транслятор правил, який компілює правила в код C, і бібліотека, що містить механізм виконання правил. Ліцензійна версія програми використовується в області освіти, досліджень і хобі [3].</p>
	MIKE	<p>Мікро-Інтерпретатор для інженерії знань – повне, вільне і переносне програмне середовище, розроблене для навчання, включає прямі і зворотні правила виведення від цілі до фактів з обумовленими користувачем стратегіями вирішення протиріч і фреймову мову подання знань зі спадковістю і «демонами», а також визначені користувачем стратегії спадкування. Правила виводу автоматично забезпечуються поясненнями, як користувач може сформулювати пояснення «чому». Порядок застосування правил в процесі трасування і виконання може відображатися графічно на дисплеї [3; 8]. Розробник: Відкритий Університет Великої Британії.</p>
6.	BABYLON	<p>Включає фрейми, моделі даних, Пролог-подібний логічний формалізм, і мову для написання діагностичних прикладних програм. Написана на Ліспі і переносна на широкий діапазон апаратних платформ [3, с. 295].</p>
7.	WindExS	<p>Повнофункціональна ЕС, використовує вивід від фактів до мети і підтримує графічне представлення БЗ; працює на базі Windows; має модульну архітектуру, що дає змогу користувачеві замінювати модулі так, як це потрібно для розширення можливостей системи [3, с. 295;8, с. 79].</p>

8.	Easy Reasoner	Заснована на пошуку відповідних міркувань в адаптивній асоціативній пам'яті; відшукує в пам'яті подію, подібну до нової події, використовуючи «Запит на приклад»; підтримує БД xbase, ODBC, SQL; автоматично фільтрує перешкоди для спрощення вирішальних дерев; ефективно відшукує події, подібні новому в великих БД; підтримує складені індекси в БД; класифікує нову інформацію, використовуючи будь-яке вирішальне дерево в автоматичному або інтерактивному режимі; виконує адаптивне, контекстно-залежне, задане за замочуванням міркування; обчислює адаптивну оцінку, використовуючи вирішальні дерева; відновлює (відшукує) подібні записи по контексту; розрізняє різні форми запису англійських слів; автоматично визначає об'єм інформації в слові [3, с. 299].
9.	ECLIPSE	Працює на персональних комп'ютерах (DOS, Windows), а також є версії для систем V Unix і POSIX. Синтаксис мови, використовуваної в пакеті, сумісний з мовою системи CLIPS, розробленої для NASA. Відмінності полягають в управлінні даними шляхом зіставлення із зразком, використанні прямого і зворотного виводу, в підтримці безлічі цілей, об'єктно-орієнтованому представленні знань та інтеграції з dbase [3, с. 299]. Розробник: Object Technology International (2001).

2. Інструментальні пакети для розробки ЕС (G2, ART, KEE, Knowledge KRAFT), стислий опис яких подано у таблиці 2.

Інформаційний аналіз програмних засобів
«Інструментальні пакети для розробки експертних систем»

№	Інструмент	Стислий опис
1	2	3
1.	G2 (Gensym)	Інтегруючий компонент, що дає змогу за рахунок відкритості інтерфейсів і підтримки широкого спектра обчислювальних платформ легко об'єднувати вже існуючі, розрізнені засоби автоматизації в єдину комплексну систему керування, що охоплює всі аспекти виробничої діяльності [5, с. 165-193]. Розробник: Lisp Machine Inc. (Picon) (1985–1988).
	KEE	Мова спеціального багатофункціонального призначення для роботи з фреймами в процесі розвитку засобів програмування систем штучного інтелекту [2; 13; 14; 15; 19].
2.	Knowledge KRAFT	Архітектура KRAFT підтримує злиття знань із множинних розподілених, гетерогенних джерел; використовує обмеження як загальний формат обміну знаннями, виражений проти загальної онтології. Знання, що містяться в місцевих джерелах, можуть бути перетворені на загальну мову обмежень і злиті зі знаннями з інших джерел. Об'єднані знання потім використовуються для вирішення певної проблеми або надання певної інформації користувачеві [28].

З'ясовано, що перевагами наведеного адаптивного інструментарію для формування БЗ ІАС ПНК (табл. 1-2) є:

- підтримка представлення знань за різними видами аналітичної інформації різноманітними моделями представлення знань у рамках однієї системи;
- наявність засобів візуального проектування БЗ;
- наявність засобів верифікації БЗ, включаючи перевірку на несуперечність;
- можливість монотонного (сталого) розширення БЗ;
- наявність засобів інтеграції декількох БЗ;
- наявність засобів підтримки обміну даними із зовнішнім середовищем, включаючи засоби обміну даними у реальному часі.

Проте, крім зазначених переваг визначено й характерні такі недоліки у

застосуванні зазначеного інструментарію для формування БЗ ІАС ПНК:

- великий часовий строковий інтервал (термін часу) розробки БЗ (відсутність розвинених технологій їх розробки);
- обмежена кількість висококваліфікованих розробників БЗ;
- невирішеність в повному масштабі проблеми взаємо інтеграції БЗ.

Проте, безпосередньо основними перевагами використання специфічних БЗ ІАС-ПНК є потенційні можливості:

- збереження складної різномірної аналітичної інформації;
- розширення та доповнення описів предметних областей без перепрограмування;
- наочного й доступного представлення аналітичної інформації (специфічних знань) для користувачів-дослідників, а також для всіх суб'єктів науково-освітнього процесу.

3. Системи з обробки онтологій (Protégé, WebOnto, OntoEdit, WebODE, OilEd, OntoLingua):

Protégé є локальною, вільно поширюваною Java-програмою, яку призначено для побудови (створення, редагування й перегляду) онтологій ПрО. вона містить редактор для проектування онтологій шляхом розгортання їх ієрархічної структури абстрактних і конкретних класів і слотів та уможливорює генерування форми здобуття знань для введення екземплярів класів і підкласів [10, с. 44; 11].

WebOnto, OntoEdit, WebODE, OilEd – системи, що підтримують редагування, документування, візуалізацію, імпорт і експорт онтологій, а також їх об'єднання і порівняння [6; 29].

OntoLingua – перший інструмент інженерії онтологій, система підтримки редагування, документування, візуалізації, імпорт та експорту онтологій, а також їх об'єднання і порівняння [6; 18; 26; 29], що складається з сервера і мови подання знань. Всі додатки, крім сервера ОКВС, реалізовано на основі форм HTML, а система подання знань – на Lisp.

Системи, орієнтовані на обробку онтологій уможливуватимуть представлення специфічних ЦОР у вигляді певних цифрових колекцій, спираючись на те, що такі ресурси у якості об'єктів однієї природи взаємопов'язані один з одним та можуть бути розглянуті як виокремлені предметні області. У свою чергу, ці предметні області, представлятимуться у вигляді онтологічних моделей (окреслення множини концептів предметної області, а також визначення множини відносин між цими концептами та побудова множин функцій інтерпре-

тації, заданих на концептах та відносинах онтології). У такий спосіб, таке представлення уможлиблюватиме розгляд онтології як множини онтологічних графів, котрі описуватимуть пірамідальну мережу, кожен вузол якої є об'єктом онтологічного моделювання зі своїм контентом. Дійсно, що нині найбільш перспективним напрямом у цьому плані вважається онтологічне подання даних та семантичні технології їх опрацювання.

Висновки. Таким чином, на нашу думку, специфічна БЗ ІАС-ПНК матиме нечіткий характер упорядкування даних, наближений до адаптивного людського сприйняття, а отже, інтуїтивно зрозумілий для користувачів-дослідників, здобувачів наукової освіти (магістрантів, аспірантів, докторантів та ін.).

Основними перевагами формування й використання специфічних БЗ ІАС-ПНК вважаємо потенційні можливості: збереження складної різномірної аналітичної інформації; розширення та доповнення описів предметних областей без перепрограмування; наочного й доступного представлення аналітичної інформації (специфічних знань) для користувачів-дослідників, а також для всіх суб'єктів підготовки наукових кадрів в освітньому та дослідницьких процесах ЗВО/НДІ.

Отже, у контексті дослідження здійснено теоретичні викладки, які спрямовано на перспективу вирішення проблеми уніфікації процесу формування специфічної БЗ в Еко-середовищі ІАС-ПНК засобами ЕОР/ЦОР зі застосуванням розглянутого адаптивного інструментарію у цьому контексті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баклан І. В. (2012). Експертні системи. Курс лекцій: навч. посібник. Київ: НАУ, 132 с.
2. Вахнюк С. В. (2011). Технологія створення програмних та інтелектуальних систем: навч. посібник. Суми: ДВНЗ «УАБС НБУ», 254 с.
3. Жук П. Ф. (2009). Методи та засоби подання знань: навч.-метод. комплекс дисципліни для підготовки бакалаврів денної форми навчання за напрямом 0804 «Комп'ютерні науки» спеціальності 6.080400 «Інтелектуальні системи прийняття рішень». Ірпінь, 359 с.
4. Зибін С. В. (2018). Кількісна оптимізація ресурсів інформаційної системи для ефективної підтримки прийняття рішень. Телекомунікаційні та інформаційні технології. Вип. 1 (58). С. 134-141.
5. Кравець В. О., Хавіна І. П., Колибін Ю. М. та ін. (2006). Вступ до експертних систем: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 232 с.
6. Кушнірецька І. І. (2017). Інформаційна технологія динамічної інтеграції слабо структурованих даних у web-системах : дис. ... к. тех. н.: 05.13.06 – інформаційні

технології / Ірина Ігорівна Кушнірецька; Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 164 с.

7. Месюра В. І., Яровий А. А., Арсенюк І. Р. (2006). Експертні системи: навч. посібник (частина 1). Вінниця: ВНТУ, 114 с.

8. Плєскач В. Л., Рогушина Ю. В. (2005). Агентні технології: монографія. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 344 с.

9. Рогушина Ю. В. (2018). Моделі та методи використання онтологій у семантичному пошуку у WEB. Proceedings of the UkrPROG 2018: 11th Inter. Conf. of Progr. (May 22-24, 2018, Kyiv, Ukraine), vol. 2139. pp. 197-203. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2139/197-203.pdf>.

10. Рогушина Ю., Прийма С., Строкань О. (2017). Створення та використання семантичних Wiki-ресурсів: довідник. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Rohushyna_Yuliia/Stvorennia_ta_vykorystannia_semantychnykh_Wiki-resursiv.pdf

11. Руководство по Protégé 4.2. URL: <https://docs.google.com/document/d/1Fg9u9pf5RXBu8bklLh48MkZ01-DLrd8hn3ZJbTh6xg4/edit#>

12. Семеріков С. О., Теплицький І. О. (2006). CLIPS: локалізована оболонка експертної систем для вітчизняної системи освіти. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/77241079.pdf>

13. Соколовська З. М. (2005). Експертні системи в економічних дослідженнях: монографія. Одеса: Астропринт, 240 с.

14. Соколовська З. М. (2012). Використання нечітких експертних систем в практиці економічних досліджень. Економіка: реалії часу: наук. журнал. Вип. 1 (2). С. 162-168. URL: <http://economics.opu.ua/files/archive/2012/n1.html>

15. Субботін С. О. (2008). Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навч. посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 341 с.

16. Шаповалова С. І., Мажара О. О. (2021). Програмний інструментарій розробки експертних систем: комп'ютерний практикум: навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 56 с.

17. CLIPS User's Guide/ Version 6.0. NASA. Lyndon B. Johnson space center information systems directorate. Software Technology Branch, 1999. 578 p.

18. Farquhar A., Fikes R., Rice J. (1997). The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction. International Journal of Human-Computer Studies, 46 (6), pp. 707-728.

19. Florentin J. J. (2010). Software Review: KEE. Ex-pert Systems, Vol.4, No. 2. pp. 118-220.

20. Forgy C. L. (2004). FuzzyClips User's Manual. Pittsburg, Pa: Carnegie-Mellon University, 310 p.

21. FuzzyCLIPS. – <http://ai.iit.nrc.ca/fuzzy/fuzzy.html>.

22. Friedman-Hill Er. J. (2003). Jess, The Rule Engine for the Java Platform. Distributed 110

Computing Systems Sandia National Laboratories Livermore, CA Version 6.1p4 (8 July 2003). <https://www.csie.ntu.edu.tw/~sylee/courses/jess/docs/>.

23. Guraliuk A. G., Rostoka M. L., Cherevychnyi G. S., Zakatnov D. O., Pavlysh T. H. (2021). Dual-Component Ontograph Visualization IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1031 (1), 012119. In: Springer, Cham, Scopus. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012119> (English).

24. Guraliuk A., Rostoka M., Koshel A., Skvorchevska Y., Luchaninova O. (2022). Ontological Modeling of Electronic Educational Resources. Lecture Notes in Networks and Systemsthis. 390 LNNS, pp. 661–668. In: Springer, Cham, Scopus, WoS. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_71 (in English).

25. Michon J. A., Akyürek A. (1992). Basic References for Soar. In: Michon J.A., Akyürek A. (eds) Soar: A Cognitive Architecture in Perspective. Studies in Cognitive Systems, vol. 10. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2426-3_9.

26. Musen M. (1998). Domain Ontologies in Software Engineering: Use of Prot?g? with the EON Architecture. Methods of Inform. in Medicine, pp. 540-550.

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., Rüütmann T. (eds). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1329. In: Springer, Cham, Scopus, WoS. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68201-9_82 (in English).

28. Preece A. et al. (2000). The KRAFT Architecture for Knowledge Fusion and Transformation. In: Bramer M., Macintosh A., Coenen F. (eds) Research and Development in Intelligent Systems XVI, pp. 23-38. Springer, London. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0745-3_2.

29. Sure Y., Erdmann M., Angele J., Staab S., Studer R., Wenke D. (2002). OntoEdit: Collaborative ontology development for the Semantic Web. In Proc. of the Inter. Semantic Web Conference (ISWC 2002), Sardinia, Italia.

REFERENCES

1. Baklan I. V. (2012). Ekspertni systemy. Kurs lektsii: navch. posibnyk. Kyiv: NAU, 132 s.
2. Vakhniuk S. V. (2011). Tekhnolohiia stvorennia prohramnykh ta intelektualnykh system: navch. posibnyk. Sumy: DVNZ «UABS NBU», 254 s.
3. Zhuk P. F. (2009). Metody ta zasoby podannia znan: navch.-metod. kompleks dystsypliny dlia pidhotovky bakalavriv dennoi formy navchannia za napriamom 0804 «Kompiuterni nauky» spetsialnosti 6.080400 «Intelektualni systemy pryiniattia rishen». Irpin, 359 s.
4. Zybin S. V. (2018). Kilkisna optymizatsiia resursiv informatsiinoi systemy dlia efektyvnoi pidtrymky pryiniattia rishen. Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii, Vyp. 1(58). S. 134-141.
5. Kravets V. O., Khavina I. P., Kolybin Yu. M. ta in. (2006). Vstup do ekspertnykh system:

navch. posib. Kharkiv: NTU «KhPI», 232 s.

6. Kushniretska I. I. (2017). Informatsiina tekhnolohiia dynamichnoi intehratsii slabostrukturovanykh danykh u web-systemakh : dys. ... k. tekhn. n.: 05.13.06 – informatsiini tekhnolohii / Iryna Ihorivna Kushniretska; Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika». Lviv, 164 s.

7. Mesiura V. I., Yarovi A. A., Arseniuk I. R. (2006). Ekspertni systemy: navch. posibnyk (chastyna 1). Vinnytsia: VNTU, 114 s.

8. Pleskach V. L., Rohushyna Yu. V. (2005). Ahentni tekhnolohii: monohrafiia. Kyiv: Kyiv. nats. torh.-ekon. un–t, 344 s.

9. Rohushyna Yu. V. (2018). Modeli ta metody vykorystannia ontolohii u semantychnomu poshuku u WEB. Proceedings of the UkrPROG 2018: 11th Inter. Conf. of Progr. (May 22-24, 2018, Kyiv, Ukraine), Vol. 2139. pp. 197-203. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2139/197-203.pdf>.

10. Rohushyna Yu., Pryima S., Strokan O. (2017). Stvorennia ta vykorystannia semantychnykh Wiki-resursiv: dovidnyk. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Rohushyna_Yuliia/Stvorennia_ta_vykorystannia_semantychnykh_Wiki-resursiv.pdf

11. Rukovodstvo po Protégé 4.2. URL: <https://docs.google.com/document/d/1Fg9u9pf5RXBu8bklLh48MkZ01-DLrd8hn3ZJbTh6xg4/edit#>.

12. Semerikov S. O., Teplytskyi I. O. (2006). CLIPS: lokalizovana obolonka ekspertnoi system dlia vitchyznianoï systemy osvity. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/77241079.pdf>

13. Sokolovska Z. M. (2005). Ekspertni systemy v ekonomichnykh doslidzhenniakh: monohrafiia. Odesa: Astroprynt, 240 s.

14. Sokolovska Z. M. (2012). Vyorystannia nechitkykh ekspertnykh system v praktytsi ekonomichnykh doslidzhen. Ekonomika: realii chasu: nauk. zhurnal. Vyp. 1 (2). S. 162-168. URL: <http://economics.opu.ua/files/archive/2012/n1.html>

15. Subbotin S. O. (2008). Podannia y obrobka znan u systemakh shtuchnoho intelektu ta pidtrymky pryiniattia rishen: navch. posibnyk. Zaporizhzhia : ZNTU, 341 s.

16. Shapovalova S. I., Mazhara O. O. (2021). Prohramnyi instrumentarii rozrobky ekspertnykh system: kompiuternyi praktykum: navch. posib. dlia zdobuvachiv stupenia doktora filosofii zi spetsialnosti 122 Kompiuterni nauky. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 56 s.

17. CLIPS User's Guide/ Version 6.0. NASA. Lyndon B. Johnson space center information systems directorate. Software Technology Branch, 1999. 578 p.

18. Farquhar A., Fikes R., Rice J. (1997). The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction. International Journal of Human-Computer Studies, 46(6), pp. 707-728,

19. Florentin J. J. (2010). Software Review: KEE. Expert Systems, Vol.4, No. 2. pp. 118-220.

20. Forgy C. L. (2004). FuzzyClips User's Manual. – Pittsburg, Pa: Carnegie-Mellon University, 310 p.
21. FuzzyCLIPS. – <http://ai.iit.nrc.ca/fuzzy/fuzzy.html>.
22. Friedman-Hill Er. J. (2003). Jess, The Rule Engine for the Java Platform. Distributed Computing Systems Sandia National Laboratories Livermore, CA Version 6.1p4 (8 July 2003). <https://www.csie.ntu.edu.tw/~sylee/courses/jess/docs/>.
23. Guraliuk A. G., Rostoka M. L., Cherevychnyi G. S., Zakatnov D. O., Pavlysh T. H. (2021). Dual-Component Ontograph Visualization IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1031 (1), 012119. In: Springer, Cham, Scopus. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012119> (English).
24. Guraliuk A., Rostoka M., Koshel A., Skvorchevska Y., Luchaninova O. (2022). Ontological Modeling of Electronic Educational Resources. Lecture Notes in Networks and Systemsthis. 390 LNNS, pp. 661–668. In: Springer, Cham, Scopus, WoS. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_71 (in English).
25. Michon J. A., Akyürek A. (1992). Basic References for Soar. In: Michon, J.A., Akyürek, A. (eds) Soar: A Cognitive Architecture in Perspective. Studies in Cognitive Systems, vol. 10. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2426-3_9.
26. Musen M. (1998). Domain Ontologies in Software Engineering: Use of Prot?g? with the EON Architecture. Methods of Inform. in Medicine, pp. 540-550.
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., Rüütmann, T. (eds). Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1329. In: Springer, Cham, Scopus, WoS. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68201-9_82 (in English).
28. Preece A. et al. (2000). The KRAFT Architecture for Knowledge Fusion and Transformation. In: Bramer M., Macintosh A., Coenen F. (eds) Research and Development in Intelligent Systems XVI, pp. 23–38. Springer, London. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0745-3_2.
- Sure Y., Erdmann M., Angele J., Staab S., Studer R., Wenke D. (2002). OntoEdit: Collaborative ontology development for the Semantic Web. In Proc. of the Inter. Semantic Web Conference (ISWC 2002), Sardinia, Italia.

Received 26.04.2022.

Accepted 28.04.2022.

Adaptive tools for formation of the knowledge base of information and analytical system of training scientific staff

The author emphasizes the urgency of preserving the integrity of the scientific and educational process for the training of highly qualified personnel in higher education universities and research institutions. It is noted that the consequences of force majeure, including quarantine from the COVID-19 pandemic and the current martial law in Ukraine, cause some adjustments in the organization of training of scientific staff. In this

regard, it is likely that the problem of creating a fundamentally new information-analytical system (IAS), which in this vector will include a specific knowledge base following the requests of research users – subjects of scientific training. Thus, the article aims to present the results of the doctoral research, in particular on the intermediate content analysis of scientific, information and reference, educational and methodological and other literature sources and practice-oriented resources on the development of information technology and systems and their adaptive transfer, which will contribute to the accumulation of analytical information and its digitization. Emphasis is placed on the rationality of creation and use of intelligent IAS based on the formed specific knowledge bases using semantic technologies and ontological modelling. This is due to the existence of a large amount of diverse analytical information, based on which the issues of any research, which in the context of training is a mandatory component of scientific and educational activities of applicants for scientific education (undergraduates, graduate and doctoral researchers, etc.). It is claimed that a modern researcher will be able to master modern tools and expert technologies of information and analytical activities. A brief description of the adaptive tools with which the formation of a specific knowledge base in the IAS of training of scientific staff is presented. It is noted that semantic and ontological approaches are the most effective in this regard for building information systems, in particular those related to the development of information-analytical competence of applicants for scientific education.

Keywords: Information-Analytical System, Training of Scientific Staff, Knowledge Base, Tools, Adaptability, Semantic Network, Ontological Approach, Expert System, Digitalization.

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).

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ, НЕОБХІДНОЇ ДЛЯ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД ДО ПЕВНОГО РОЗМІРУ

Анотація. Проведено аналіз існуючих класичних теорій визначення кількості енергії, необхідної для дезінтеграції твердих тіл. Кожна з них реалізує тільки невелику частку спектру умов дроблення та подрібнення гірських порід. В той же час вони практично не враховують контактне тертя між інструментом та породою. Авторами запропоновано використовувати нову теорію локального руйнування гірської породи при симетричному і асиметричному розподілу контактних дотичних напружень, яка теоретично забезпечує зниження питомої енергії руйнування в 40 - 45 разів, що дозволяє шукати нові шляхи керування процесом дезінтеграції при найменших витратах енергії

Ключові слова: гірські породи, класичні енергетичні теорії руйнування, зразок, контактне тертя, дотичні напруження, асиметрія, енергія руйнування.

Вступ. Відомо, що збагачення корисних копалин проводиться шляхом поділу мінеральних асоціацій, що мають певні технологічні властивості по мінеральному складу. Якщо на початку ХХ ст. ефективно збагачувалися руди з верхньою межею подрібнення гірської породи 1 мм, то вже в 30-і роки для всіх типів руд це було знижено на порядок, а в даний час деякі руди ефективно збагачують при подрібненні до 50 мкм. Складність полягає в тому, що при переході від крупності подрібнення 1 мм до 50 мкм, сумарна поверхонь подрібненої породи зростає на 2 - 3 порядки, а при зниженні лінійних розмірів зерен руди, подрібненої до 10 мкм, вона збільшується вже на 4 порядки.

При цьому необхідно мати на увазі низьку ефективність (перш за все енергетичну) існуючих масових технологій руйнування: навіть найбільш досконалі з них «використовують» менш 1% енергії, що підводиться. І це при тому, що витрати енергії на дроблення та подрібнення гірських порід, вже сьогодні становлять десятку частину всієї вироблюваної в країні електроенергії. Такі витрати продовжують стрімко зростати.

Загальна кількість матеріалів, які щорічно піддаються в нашій країні дезінтеграції, становить близько 1 млрд. т. При цьому в структурі капітальних

вкладень на збагачувальне виробництво на частку дробильно-подрібнювальних відділень припадає 50 - 65% загальних витрат [1].

Кількість енергії, необхідної для подрібнення будь-якого матеріалу до певного розміру, залежить від багатьох факторів - розміру, форми, взаємного розташування шматків, міцності, крихкості, однорідності вихідного матеріалу, його вологості, виду і стану робочих поверхонь машини та ін. [1] Тому встановити аналітичну залежність між витратою енергії на подрібнення, фізико-механічними властивостями матеріалу, що подрібнюється і результатами процесу можна лише в найзагальнішому вигляді.

Основна частина. Класичні енергетичні гіпотези руйнування Ріттінгера, Кіка- Кирпичова та Бонда [2], можна об'єднати формулою так званої узагальнюючої гіпотези

$$dE^1 = -k \frac{dx}{x f(x)},$$

де E^1 - питома енергія, що передається одиниці об'єму тіла, яке руйнується. Вона необхідна для приросту енергії новоствореної поверхні; k - коефіцієнт пропорційності; x - середній діаметр зерен; $f(x)$ - показник ступеня, що залежить від крупності частинок.

Диференціальне рівняння може бути представлено в більш простій формі

$$dE^1 = -k \frac{dx}{x^n},$$

де n - коефіцієнт, який залежить від діапазону крупності і способу дроблення (подрібнення).

На рис. 1 показана геометрична інтерпретація виразу - узагальнена форма теоретичних і емпіричних рівнянь Ріттінгера, Кіка, Кирпичова, Бонда, Свенсона, Холмса та інших авторів.

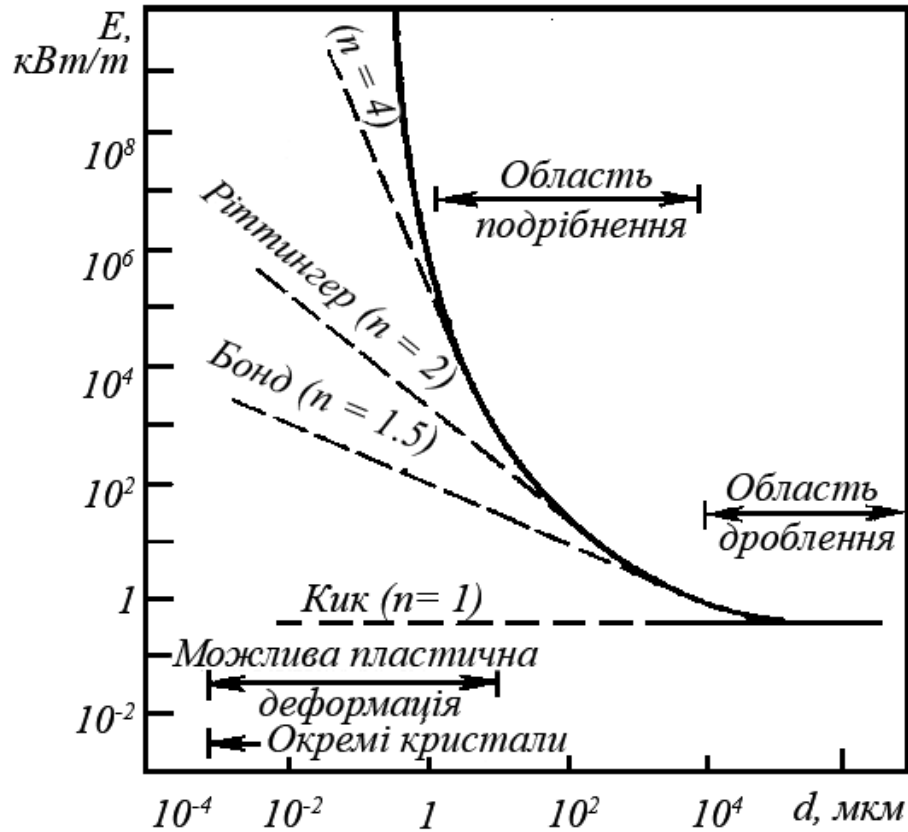


Рисунок 1 - Залежність питомого витрату енергії E^1 від крупності часток твердих матеріалів, які руйнуються

Розглянемо викладені вище гіпотези з урахуванням рівняння узагальнюючої гіпотези.

П. Рітінгер встановив, що енергія руйнування пропорційна новоствореній поверхні $E^1 = k_1 (S_k - S_n) = k_1 \Delta S$, де S_k, S_n - поверхня матеріалу до і після руйнування, m^2 ; k_1 - коефіцієнт пропорційності, $Нм/м^2$.

Це рівняння може бути отримано шляхом інтегрування диференційного рівняння узагальнюючої гіпотези при $n = 2$,

$$E^1 = k_2 \left(\frac{1}{d_{cp}} - \frac{1}{D_{cp}} \right),$$

де D_{cp} і d_{cp} - середня крупність частинок відповідно вихідного і дробленого продукту.

Розмір новоствореної поверхні можна відобразити через початкові і кінцеві розміри дробленого матеріалу, і якщо дробленню піддається не один шматок, а Q (m^3) матеріалу з середнім розміром шматків, рівним D_{cp} , то остаточна формула Рітінгера буде мати наступний вигляд

$$E^1 = K_R (i - 1) Q/D_{cp}.$$

Визначити коефіцієнт пропорційності K_R між витраченою роботою і знову оголеною поверхнею тут вельми важко, що, безумовно, знижує практичне значення цієї формули. Площа поверхні пухкого матеріалу, що складається з окремих шматків, залежить від їх крупності. Замінімо дійсно пухкий матеріал ідеальним, в якому всі шматки мають однаковий середній розмір і однакову правильну, наприклад кубічну, форму. Тоді маса одного шматка буде

$$G = \rho d_{cp}^3,$$

де ρ - щільність матеріалу; d_{cp} - середній діаметр шматків. Число шматків в Q тоннах матеріалу $N = Q / d_{cp}^3 \delta$.

Поверхня одного шматка $s = 6 d_{cp}^2$. Поверхня Q тон пухкого матеріалу $S = s N Q = 6 d_{cp}^2 Q / (\delta d_{cp}^3) = 6 Q / \delta d_{cp}$. Питома поверхня пухкого матеріалу

$$s_n = S/Q = 6/\delta d_{cp}.$$

Питома поверхня пухкого матеріалу зворотньо-пропорційна розміру шматків і може служити мірою крупності матеріалу. Формулу можна застосувати для визначення питомої поверхні дійсного пухкого матеріалу, що складається з шматків різного розміру і різної форми.

Рівняння гіпотези Кирпичева-Кіка може бути отримано також з диференційного рівняння узагальнюючої гіпотези інтеграцією його в тих же межах при $n=1$

$$E^1 = k_2 \ln \left(\frac{D_{cp}}{d} \right) = k_2 \ln i,$$

де 1 - ступінь скорочення

Якщо прийняти, що на дроблення надходить Q (кг) матеріалу із середнім розміром шматків D_{cp} то остаточно, виконавши відповідні перетворення, будемо мати

$$E^1 = K_k Q \ln \left(\frac{D_{cp}}{d} \right).$$

Отримана формула відображає математичну залежність гіпотези Кирпичева-Кіка.

Після опублікування зазначених гіпотез дроблення з'явилися роботи, присвячені їх аналізу і порівнянню. Думки вчених розділилися. Одні вважали, що гіпотези Кирпичова-Кіка і Ріттінгера справедливі для різних стадій подрібнення: гіпотеза Кирпичова-Кіка визначає енергію, яка витрачається на пружну деформацію матеріалу і не враховує новоствореної поверхні, і тому гіпотеза справедлива для процесів дроблення, де основна енергія витрачається на деформацію матеріалу; гіпотеза Ріттінгера не враховує витрати енергії на

пружну деформацію і більш підходить для процесів помелу, де переважає стирання з інтенсивною появою нової поверхні.

Інші вчені стверджували, що неправильно використовувати гіпотези Кирпичова-Кіка і Ріттінгера окремо для різних стадій процесу подрібнення. Ці закони доповнюють один інший і діють спільно.

У 1940 році академік П. Ребиндер запропонував формулу витрати енергії при подрібненні, в якій сумуються роботи, які витрачаються на деформацію руйнування шматків, і на появу поверхонь

$$E^1 = KAV + K_0AF,$$

де K , K_0 - коефіцієнти пропорційності; ΔV - деформований обсяг; ΔF - новостворена поверхня.

Надалі гіпотеза П. Ребиндера була доповнена складовою зовнішнього тертя і представлена у вигляді

$$E^1 = KD^3 + K_0 D^2 + K_r D,$$

де K , K_0 , K_r - відповідно коефіцієнти пропорційності для появи нової поверхні, надлишкової деформації і зовнішнього тертя; D - середній розмір подрібнюваних шматків.

Формула П. Ребиндера не отримала широкого розповсюдження через відсутність надійних рекомендацій по методиці вибору значень коефіцієнтів пропорційності для конкретного випадку.

В результаті обробки даних численних серій дослідів, що охоплюють широкий діапазон руд, Ф. Бонд знайшов, що

$$E^1 = k_4 \left(\frac{1}{\sqrt{d_{cp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{cp}}} \right).$$

Загальний вид рівняння, яке використовувалось Ф. Бондом

$$E^1 = k_4 \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right),$$

де D_{80} и d_{80} — розмір отворів сита, через які проходить 80% матеріалу відповідно до і після дроблення.

Рівняння можуть бути отримані з диференційного (аналогічно викладеним вище) при його інтегруванні для $n = 1,5$. Відповідно до цієї гіпотези елементарна робота, що витрачається при дробленні, пропорційна збільшенню середньгеометричним між обсягом і знов оголеною поверхнею

$$E^1 = K_6 d (\sqrt{VF}),$$

де K_6 - коефіцієнт пропорційності.

Якщо позначити через W (індекс роботи) ту роботу, яку потрібно затратити для доведення одиниці об'єму матеріалу, що складається з шматків бескінечних розмірів, до крупності, при якій 80% шматків мають діаметр $D_k = 100$ мкм, то

$$W = A_0 / Q_0 = K_B \left(\frac{1}{\sqrt{100}} - \frac{1}{\sqrt{\infty}} \right) = 0.1 K_B, \text{ тоді } K_B = 10 W.$$

Роботу на одиницю об'єму можна визначити за наступною розрахунковою формулою

$$E^1 = \frac{A_0}{Q_0} = 10W \left(\frac{1}{\sqrt{D_k}} - \frac{1}{\sqrt{D_0}} \right) = \frac{10W \left(\sqrt{D_0} - \sqrt{D_k} \right)}{\sqrt{D_0 D_k}}$$

У формулах Бонда діаметри D_0 і D_k виражені в мікрометрах і рівні тим отворам сита, на яких залишок дорівнює 20% (просів 80%).

Замість обсягу Q_0 в формули можна ввести пропорційну йому величину - масу матеріалу Q . Тоді індекс роботи W і питома витрата енергії $E^1 = A_0/Q_0$ будуть відноситися до 1 т матеріалу

$$E_B^1 = \frac{A_0}{Q_0} = \frac{10W_i \left(\sqrt{D_0} - \sqrt{D_k} \right)}{\sqrt{D_0 D_k}}$$

Інтерес до гіпотези Ф. Бонда привів до того, що Дж. Свенсен і Дж. Мюркес в 1957р запропонували свій варіант формули, який, на їхню думку, краще узгоджується з експериментальними даними. Спочатку вони надали формули Ф. Бонда такий вигляд:

$$E = E_0 \left(\sqrt{\frac{100}{k_{80}}} - \sqrt{\frac{100}{k_{80f}}} \right),$$

де E - витрати енергії, необхідної для подрібнення; E_0 - фактор пропорційності; k_{80} - розмір осередку сита, крізь яке проходить 80% продукту подрібнення; k_{80f} - розмір осередку сита, крізь яке проходить 80% вихідного матеріалу.

Крім того, коли завантаження є відсіною фракцією, вони рекомендують внести поправку в величину k_{80f} завантаження і замінити її величиною k_{80fn} , яка витікає з формулы:

$$k_{80f} = \frac{k_{80f}}{\left[2 - \left(\frac{k_0}{k_{80f}} \right)^{\sqrt{2}} \right]^{\sqrt{2}}},$$

де k_n - розмір, до якого проводиться розсівання після видалення всіх дрібних фракцій.

Зображуючи для ряду дослідів $\sqrt{\frac{100}{k_{80f}}}$ як функцію E , Дж. Свенсен і Дж. Мюркес отримали не тільки серію прямих, а й криві лінії, що спонукало їх узагальнити первинний варіант та записати модифіковану формулу Ф. Бонда у вигляді

$$E = E_0 [(100 / k_{80})^m - (100 / k_{80f})^m].$$

Значення m в пророблених дослідах коливалося від 0,8 до 1,3.

Крім того Дж. Свенсен і Дж. Мюркес знайшли формулу справедливою не тільки для розмірів частинок, відповідних 80% проходження через сито, але також для будь-яких інших (за умови, що E_0 і m є функціоналами відсотка проходження частинок). Вони прийшли до висновку, що не варто пов'язувати кількість енергії, що витрачається з розміром частинок, відповідним відомому відсотку проходження, і що більш відповідним критерієм процесу подрібнення є середній розмір частинки для будь-якого відсотка проходження. Тому остання запропонована ними формула має такий вигляд:

$$E = E_0 [(100 / k_{80})^m - (100 / k_m)^m].$$

Тут k_m визначається за формулою

$$\lg k_m = \frac{1}{5[\lg k_{90} + \lg k_{70} + \lg k_{50} + \lg k_{30} + \lg k_{10}]},$$

де k_{90} і k_{10} - розміри, менше яких міститься відповідно 90, 70, 50, 30 і 10% часток.

У 1954р А.К. Рундквіст (інститут «Механобр») запропонував узагальнюючу формулу, по якій елементарна робота дроблення одного шматка матеріалу пропорційна елементарній зміні деякої міри його розміру D ,

$$dE_0 = Kd (D^{4-n}),$$

де K - коефіцієнт пропорційності; $4-n$ - показник ступеня, який визначається експериментально.

Беручи в цій формулі показник ступеня n , рівним 2; 1,5; 1, можна отримати відповідно формули гіпотез Ріттінгера, Бонда і Кирпичова - Кіка.

У 1957р Дж. Холмс, вважаючи, що теорія Ф. Бонда, надзвичайно корисна для визначення кількості енергії, необхідної для промислового подрібнення, запропонував модифіковане емпіричне рівняння, що зв'язує енергію, необхідну для подрібнення частинки, з її розміром. Це рівняння має вигляд

$$E = K [1 - (1/R)^z (100/a)^z],$$

де E - енергія, що витрачається при подрібненні; K - показник подрібнення; R - ступінь подрібнення; a - розмір часток; z - показник ступеня відхилення.

Величина z відображає ступінь зміни опору матеріала подрібненню і зміну ефективності машини зі зміною розміру часток. Його значення залежить від матеріалу і умов докладання зусиль. Рівняння може бути застосовано до крихких неоднорідних матеріалів.

Дж. Холмс розробив метод розрахунку значень K і z за результатами випробувань в кульових млинах для достатньо великого числа різних гетерогенних руд за допомогою емпіричного методу Ф. Бонда. При подрібненні будь-якого матеріалу в кульовому млині описаного типу значення K і z постійні в межах розглянутого розміру часток.

Природно, зазначає Дж. Холмс, розраховану з цього загального рівняння енергоємність подрібнення в даному кульовому млині, не можна використовувати для інших типів дробарок і млинів, так як поведінка матеріалу при подрібненні залежить не тільки від його природи, а й від деформуючих зусиль, що діють на нього

Значення z залежить від швидкості прикладання навантажень, енергії, яка поглинається при зіткненнях та накопичується ще до руйнування, напрямків деформуючих сил по відношенню до анізотропії частки, форми і розмірів частинок матеріалу, що руйнується і т. д.

Згідно термодинамічної теорії Л. Джінгезіана, сума доданої кінетичної енергії, необхідної для подрібнення матеріалу і внутрішньої теплової енергії матеріалу, що підлягає подрібненню, є постійною величиною.

Фізичні передумови цієї теорії такі. Частки, які складають обсяг такого гетерогенного матеріалу як руда, під впливом тепла розширюються неоднаково, що викликає внутрішні напруження в цьому обсязі, вони зростають з підвищенням температури. У результаті, на думку автора теорії, на дроблення нагрітої руди потрібно менше кінетичної енергії тіл в порівнянні з дробленням ненагрітої руди на значення енергії, витраченої на попередній нагрів.

Ця теорія, запропонована в 1952р, була перевірена на ряді випробувань з вапняком, мідно-нікелевими і свинцево-срібними рудами і кварцом.

Випробування підтвердили висновки теорії про збільшення площі знов утвореної поверхні з зростанням температури. Однак сталості суми кінетичної і теплової енергії не спостерігалось, причому загальні енерговитрати завжди виявлялися вище при дробленні з попереднім нагріванням.

Теорія моделей А. Андреазена (1953 р) дозволяє кількісно визначити параметри і процес роботи промислової дробильно-подрібнювальної машини по даним лабораторної машини. Неодмінною умовою правильного результату такого моделювання є виконання наступних положень: обидві машини повинні бути суворо подібні, мати одну і ту ж конструкцію і форму з постійними параметрами подоби; теорія застосовна тільки до крихких матеріалів, які руйнуються раніше, ніж буде перевершена межа пружності.

Теорія А. Андреазена ґрунтується на спостереженні за руйнуванням геометрично подібних тіл під дією статично подібних зовнішніх сил. Автор вважає, що сила, яка потрібна для руйнування матеріалу, характеризує природу цього матеріалу за умови, що зовнішні сили руйнують його раніше, ніж досягається межа пружності.

Головним контраргументом теорії моделей можна назвати той факт, що руйнування в дійсності - процес масштабно не подібний, суворо кажучи, навіть для ідеальних кристалів. Тим більше, цей процес масштабно не подібний для реальних твердих тіл з недосконалою кристалічною будовою, властивості яких помітно змінюються в залежності від розмірів. Проте, ця теорія в змозі дати приблизне уявлення кількісного характеру про роботу де-яких дробарок і млинів.

Всі наведені гіпотези подрібнення слід розглядати саме як гіпотези, але ніяк не закони, так як вони не підтверджуються практичними результатами процесу подрібнення, тим більше в широкому діапазоні властивостей матеріалу і крупності готового продукту.

Вони справедливі для спрощених моделей руйнування, заснованих на геометричній подоби частинок, які руйнуються і продуктів руйнування та їх фізичної ідентичності, при відсутності дефектів будови тіл.

Експериментальне зіставлення трьох класичних гіпотез, що характеризують зв'язок між енергоємністю дроблення і значущістю дробленого матеріалу, показує, що для подрібнення при великих питомих поверхнях краще за інших відображає дійсність формула П. Ріттинґера; для великого дроблення - гіпотеза В. Кирпичева - Ф. Кіка; формула Ф. Бонда може бути застосована при дробленні в проміжному діапазоні крупності.

Має досить широке поширення, особливо у західних фахівців, модель подрібнення Ф. Бонда, що враховує енерговитрати за допомогою так званого індексу роботи (витрати енергії в кВт*год на тону продукту для відповідних умов подрібнення), є фактом післядії і не пропонує активної зміни принципів і засобів руйнування.

Труднощі отримання універсального закону руйнування пояснюється тим, що в реальних тілах і кристалах зустрічаються дефекти у вигляді тріщин або ділянок неспівпадіння розташування атомів або вузлів кристалічної решітки (дислокацій), що є причиною виникнення тріщин. Внаслідок цих дефектів поперечні перерізи тіла стають нерівноцінними по міцності. На кінцях тріщин під впливом навантаження виникають локальні піки напружень, які значно більше середніх напружень в тілі.

Енергія, що підводиться до тіла при навантаженні, перетворюється в енергію деформації, накопичується в матеріалі, і в поверхневу енергію тріщини. Зі збільшенням довжини тріщини, напруження що виникають на її кінцях, зростають. При певних напруженнях тріщина буде поширюватися далі мимовільно.

Гріффітс отримав вираз, що зв'язує напруження σ з критичною довжиною тріщини, починаючи з якої тріщина розповсюджується мимовільно,

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}},$$

де E - модуль пружності матеріалу; γ - питома поверхня енергія тріщини. Практичне використання формули Гріффітса для характеристики зв'язку між роботою руйнування і розміром кінцевого продукту утруднено відсутністю співвідношення між розміром тіл і критичною довжиною тріщин. В даний час немає достатньо легких і надійних методів визначення розмірів дефектів, що існують в необроблених частинках гірських порід неправильної форми.

Як видно з аналізу викладеного, назріла гостра необхідність створення узагальненої і надійної математичної моделі, яка розкриває основні закономірності цих процесів. Хибність існуючих положень полягає в тому, що в основному автори розглядають процес подрібнення тільки як витрати, пов'язані з утворенням нової поверхні, без урахування частки внутрішнього і особливо зовнішнього тертя, які в сумі складають до 95 - 99% [3].

Найбільші втрати при руйнуванні викликані взаємним тертям частинок матеріалу, що переробляється з робочими органами машини. При цьому

відносні втрати на тертя тим більше, чим більше питома поверхня матеріалу (менше розміри частинок) і чим довше він перебуває в робочій камері.

У розумінні закономірностей розподілу витрат на подрібнення важливо знати, що вони залежать в першу чергу від природи речовини і способу руйнування: розчавлювання, вигин, стирання, удар і так далі. Консервативність галузі не дозволяє в потрібній мірі зробити об'єктивний висновок про енергетичну ефективність різних апаратів.

Все це свідчить про необхідність нових моделей, що описують закономірності подрібнення, в першу чергу математичних моделей, що описують різні види руйнування гірської породи.

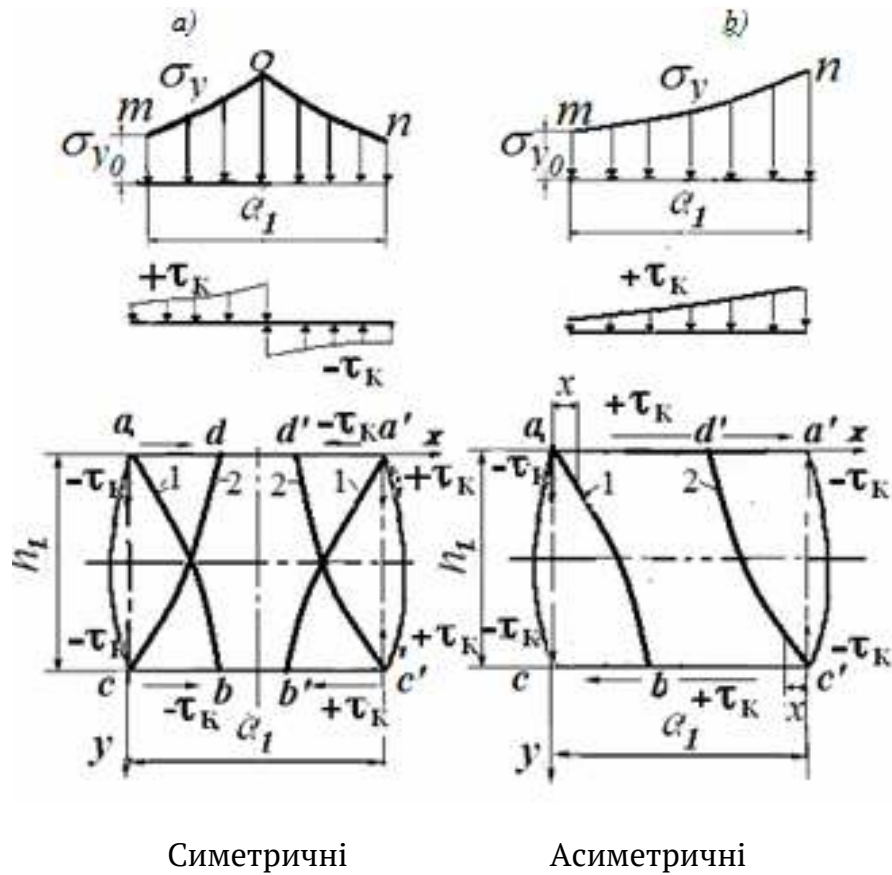
Авторами [4] під керівництвом професора Васильєва Л.М. розроблено нову теорію локального руйнування гірської породи при симетричному і асиметричному розподілу контактних дотичних напружень, яка дозволяє керувати процесом руйнування при найменших витрат енергії.

Згідно запропонованої теорії при асиметрично спрямованих контактних дотичних напруженнях маємо позитивні знаки на контактних поверхнях при розвитку тріщин зверху вниз за траєкторіями максимальних ефективних дотичних напружень (ТМЕДН) ξ (рис.2,а) і негативні знаки - знизу вгору за ТМЕДН η (рис.2,б). Для побудови діаграми «питоме зусилля – ордината» для зразків гірської породи при асиметричних напрямках контактних дотичних напружень необхідно визначити питоме зусилля p на майданчику зразка, що не вийшов з-під навантаження.

Формула розподілу контактних нормальних напружень у цьому випадку має такий вигляд

$$\sigma_{y_i} = \sigma_{y_\xi} \cdot e^{\frac{f_k \cdot x}{g \cdot h_1}}.$$

де σ_{y_ξ} – нормальне напруження в кутовій точці тіла, що деформується; f_k – коефіцієнт контактного тертя; x – абсциса точки на контактній поверхні; h_1 – висота тіла, яке деформується; g – параметр уточнення розподілу контактних дотичних напружень.



Симетричні Асиметричні
 Рисунок 2 – Схеми ТМЕДН при двох видах розподілу
 дотичних напружень (1-ТМЕДНξ, 2-ТМЕДНη)

На рис. 2 можна побачити, що частина зразка, що виходить з-під навантаження в процесі розвитку тріщин при асиметричному навантаженні, дорівнює $2x$, а частина, що несе, - дорівнює $(a_1 - 2x)$. Тоді питоме зусилля згідно зі схемою (рис. 2, б) з урахуванням виходу частини зразка з-під навантаження на величину $2x$ на підставі формули визначається як

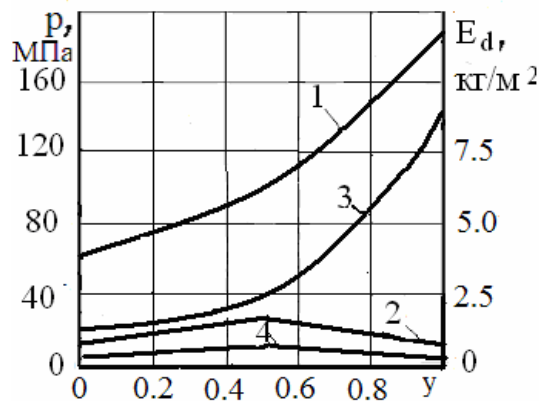
$$p = \frac{\sigma_{y\xi}}{a_1 - 2x_\xi} \int_0^t \left(1 + \frac{f_k \cdot t}{h_1}\right) dt = \frac{gh\sigma_{y\xi}}{f_k(a_1 - 2x_\xi)} \left(\exp\left(\frac{f_k(a_1 - 2x_\xi)}{gh_1}\right) - 1 \right),$$

де $t = a_1 - 2x$.

На підставі отриманого виразу при асиметричному контактному навантаженні розроблено метод розрахунку параметрів діаграм «питоме зусилля – ордината», «напруження – деформація» та енергетичної оцінки процесу руйнування.

Питоме зусилля при симетричних контактних дотичних напруженнях постійно зростає з розвитком тріщин (рис. 3, крива 1), а при асиметричних

спрямованих контактних дотичних напруженнях зростає від ординати вершини тріщини до горизонтальної осі симетрії, потім знижується (рис.3, крива 2) при цьому максимальне значення питомого зусилля в першому випадку в залежності від показників фізико-механічних властивостей матеріалу в 9-10 разів вище, ніж у другому випадку, при асиметричному розподілі.



$$K_n = 10 \text{ МПа}; \rho = 45^\circ$$

Рисунок 3 – Залежність питомого зусилля для зразка при симетричному (1), при асиметричному (2) розподілі і відповідно питомої енергії руйнування (3,4) від ординати вершини тріщини

Для розрахунку питомої енергії руйнування при симетричному та асиметричному розподілі контактних дотичних напружень скористаємося відомою формулою, що враховує витрати енергії при косому зсуві,

$$E_d = \frac{1}{2E} \left(p^2 + \sigma_x^2 - 2\nu p \sigma_x + 2(1 + \nu) \cdot \left(f_k p \left(1 - \frac{2y}{h} \right) \right)^2 \right).$$

Зазначимо, що четвертий член у дужках формули відноситься до асиметричного навантаження. Принагідно слід підкреслити, що розрахунок за цією формулою свідчить про виникнення стискаючих горизонтальних напружень при симетричному навантаженні, а при асиметричному навантаженні - розтягуючих горизонтальних напружень. Умови асиметрично спрямованих контактних дотичних напружень при дробленні крихких тіл є вигіднішими з точки зору витрат енергії на руйнування в порівнянні з симетричними контактними дотичними напруженнями. Питома енергія руйнування при симетричному навантаженні постійно зростає (рис.3, крива 3), а при асиметричному навантаженні при розвитку тріщини до горизонтальної

лінії симетрії зразка зростає, та потім знижується (рис. 3, крива 4). Загалом асиметричне навантаження зразка теоретично забезпечує зниження питомої енергії руйнування в 40 - 45 разів. Скажімо, цей результат може у читачив викликати недовіру. Але розроблений метод для симетричних дотичних напружень перевірений на всіх відомих шести формах руйнування за досить високої збіжності розрахункових та експериментальних даних. При використанні методу змінено єдиний знак контактного тертя.

Умови навантаження шматків порід асиметричними спрямованими контактними дотичними напруженнями є вигідними з точки зору витрат енергії руйнування при дробленні крихких тіл порівняно з симетричними контактними напруженнями. Ці умови, на наш погляд, частково реалізовані в жоренах та окремих типах дробарок. На думку авторів, слід активізувати дослідження з більш глибокого теоретичного та експериментального вивчення явища малоенергоємного руйнування крихких тіл при асиметричному навантаженні для створення найефективніших технічних засобів їх подрібнення.

Висноки. Проведений аналіз існуючих класичних теорій визначення кількості енергії, необхідної для дезінтеграції твердого матеріалу показав, що використовувати на практиці їх дуже не просто. Кожна з них реалізує тільки невелику частку спектру умов дроблення та подрібнення твердих тіл. В той же час вони практично не враховують контактне тертя між інструментом та поро-дою.

Авторами запропоновано використовувати нову теорію локального руйнування гірської породи при симетричному і асиметричному розподілу контактних дотичних напружень, яка дозволяє керувати процесом руйнування при найменших витрат енергії та наведена методика визначення необхідної кількості енергії руйнування. Доведено, що асиметричне навантаження зразка теоретично забезпечує зниження питомої енергії руйнування в 40 - 45 разів.

На думку авторів завдання подальших досліджень полягає в удосконаленні схем деформування гірської породи в дробарках та млинах та в пошуку шляхів підвищенні ефективності та коефіцієнта корисної дії та енерговитрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Недра, 1980.-415с.
2. В.С. Блохин, В.И. Большаков, Н.Г. Малич. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: Учебное пособие ч.1 – Днепропетровск; ИМА - пресс. 2006. - 404с.
3. Л.А. Вайсберг, Л.П. Зарогатский, В..Я. Туркин Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. -СПб.:Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 306с.
4. М. Маліч, Л. Васильєв, Д. Васильєв Оцінка енергії руйнування зразків гірських порід при асиметричному навантаженні // Укаїнський гірничий ф-2021. Матеріали міжнародної конференції – Дніпро.- Д.: Національний технічний університет «Дн. Політ», 2021. –С. 132-139 .

REFERENCES

1. S.E. Andreev, V.A. Perov, V.V. Zverevych Droblenye, yzmelchenye y hrokhocheniye poleznych yskopaemikh. 3-e yzd., pererab. y dop.- М.: Nedra, 1980.-415s.
2. V.S. Blokhyn, V.Y. Bolshakov, N.H. Malych. Osnovnie parametri tekhnolohycheskykh mashyn. Mashyni dlia dezyntehratsyy tverdikh materyalov: Uchebnoe posobyе ch.1 – Dnepropetrovsk; YMA - press. 2006. - 404s.
3. L.A. Vaisberh, L.P. Zarohatskyi, V..Ia. Turkyn Vybratsyonnie drobylky. Osnovy rascheta, proektyrovaniya y tekhnolohycheskoho pryumeneniya. -SPb.:Yzd-vo VSEHEY, 2004. – 306s.
4. M. Malich, L. Vasyliiev, D. Vasyliiev Otsinka enerhii ruinuvannia zrazkiv hirskykh porid pry asymerychnomu navantazhenni // Ukainskyi hirnychiy f-2021. Materialy mizhnarodnoi konferentsii – Dnipro.- Д.: Natsionalnyi tekhnichniy universytet «Dn. Polit», 2021. –S. 132-139 .

Received 26.04.2022.

Accepted 29.04.2022.

On the question of determining the quantity of energy necessary for the disintegration of rocks to a certain size

Abstract. An analysis of the existing classical theories of determining the amount of energy required for the disintegration of solid bodies is carried out. The classical energy hypotheses of the destruction of Rittinger, Kick-Kirpychev and Bond can be combined by the formula of the so-called generalizing hypothesis $dE^1 = -k \frac{dx}{x f(x)}$, where E^1 is the specific energy transmitted per unit volume of the body, which is collapsing. It is necessary to increase the energy of the newly created surface; k - proportionality factor; x - average grain diameter; $f(x)$ is an exponent that depends on the size of the particles. The geometric interpretation of the generalizing hypothesis and theoretical and empirical

equations of Rittinger, Kick, Kirpychov, Bond, Svensson, Holmes and other authors is shown and it is argued that they complement each other for different degrees of fragmentation. The thermodynamic theory of L. Jingejian and the theory of A. Andreazen are also analyzed.

It was concluded that the presented crushing hypotheses are valid for simplified models of destruction based on the geometric similarity of the particles that are destroyed and the products of destruction and their physical identity, in the absence of defects in the structure of bodies, therefore the need to create a generalized and reliable mathematical model that reveals the main regularities of these processes taking into account the share of internal and especially external friction.

The authors, under the guidance of Professor Vasiliev L.M. a new theory of local destruction of rock with symmetric and asymmetric distribution of contact tangential stresses has been developed, which theoretically provides a reduction in the specific energy of destruction by 40-45 times, which makes it possible to search for new ways of controlling the disintegration process with the lowest energy consumption.

Маліч Микола Григорович - к.т.н., доцент, Український державний університет науки і технологій, Україна, кафедра Колісних та гусеничних транспортних засобів.

Кресс Денис Володимирович – інженер, Підприємство «ТЕРА».

Різо Захар Миколайович - аспірант, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова.

Malich Mykola Grigorovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine, Department of Wheeled and Tracked Vehicles.

Kress Denis Volodymyrovych – engineer, "TERA" enterprise.

Rizo Zakhar Mikolayovich - postgraduate student, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakova.

Я.Ю. Згуровський, Є.С. Сулема, І.О. Саяпіна

ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЧАСОВОЇ ЗВ'ЯЗНОЇ МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

Анотація. У зв'язку з розвитком інформатизації усіх сфер діяльності широкого поширення набуває використання технології цифрового двійника. Дана технологія дозволяє замінити фізичні та аналогові ресурси цифровими. Однак вона потребує зберігання та обробки великої кількості даних та інформації у режимі реального часу що ставить додаткові вимоги до пошуку відповідного сховища даних, яке їх задовольнятиме. На основі концепцій бази даних TimescaleDB було спроєктовано трирівневу архітектуру для зберігання та агрегації мультимодальних даних цифрового двійника. У роботі пропонується адаптувати часову зв'язну модель для відображення цифрового двійника використовуючи концепцію зберігання часових даних у TimescaleDB з розподіленими гіпертаблицями. Для цього у якості ключа для розподілу простору пропонується обрати унікальний ідентифікатор модальності даних. Таким чином розподіл темпоральних мультимодальних даних забезпечується власне самою базою даних TimescaleDB. Отже вибірка даних, згрупована за часом та модальністю, працюватиме швидше, оскільки навантаження на пошук розподіляється в паралелі між кількома вузлами даних. За рахунок використання та адаптації концепції розподілених гіпертаблиць TimescaleDB запропонований спосіб дозволяє досягти ефективного зберігання та відтворення часової зв'язної моделі.

Ключові слова: цифровий двійник, мультимодальні дані, часова модель цифрового двійника, бази даних для часових рядів, TimescaleDB, архітектура.

Постановка проблеми. Останнім часом у зв'язку з розвитком інформаційних технологій широкого розповсюдження набуває технологія цифрового двійника, що дозволяє замінити фізичні та аналогові ресурси цифровими. Цифровий двійник являє собою модель фізичного об'єкта або процесу (фізичного двійника), яка якнайповніше відображає його характеристики у динаміці протягом певного періоду часу. Він може представляти продуктивність, операції, навколишнє середовище, геометрію товару та стану ресурсів на основі даних, що постійно збираються, оновлень від фізичного аналога. Цифровий двійник також є зростаючим та ефективним методом взаємодії в реальному часі. Однак, маючи величезну кількість даних та інформації в режимі реального часу

від цифрового двійника, важко представити їх користувачам та операторам інтуїтивно [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цифровий двійник для дослідження довільного об'єкта формально можна подати у вигляді математичних абстракцій, що були розроблені для ефективної обробки темпоральних мультимодальних даних досліджуваного об'єкта. На основі вищезгаданих абстракцій та їх застосування для формальної специфікації цифрового двійника буде створено так званий мультиобраз, що фактично надає формальний опис послідовностей мультимодальних даних про досліджуваний об'єкт, які були отримані з урахуванням часу в результаті вимірювання, генерації та інших операцій, що пов'язані з отриманням даних.

Як результат застосування методу створення мультиобразу та методу синхронізації мультиобразів отримуються синхронізовані темпоральні мультимодальні дані. Вони є основою для побудови будь-якої моделі цифрового двійника досліджуваного об'єкта.

В залежності від мети дослідження фізичного двійника, отримані дані можуть розглядатися на різних рівнях абстракції.

Розглянемо відображення фізичного двійника, як об'єкту, що визначається множиною станів, що динамічно змінюються з плином часу, так звану часову зв'язну модель.

Часова зв'язна модель представляє об'єкт дослідження через набір дискретних станів, визначених у конкретний момент часу набором ознак об'єкта, які є мультимодальними даними.

В результаті дослідження відбувається формування послідовності дискретних станів досліджуваного об'єкта, кожен з яких можна характеризувати сукупністю темпоральних мультимодальних даних, що асоційовані з конкретним моментом часу, що власне і слугує часовим ключем визначеного стану об'єкта [3].

Для ефективного відтворення у подальшому часової зв'язної моделі важливим фактором є вибір бази даних, яка могла би оперативно зберігати та обробляти великі обсяги даних, що надходять від досліджуваного об'єкта. Одним з рішень для зберігання таких даних є використання нереляційних NoSQL баз даних через можливість їх масштабування, оскільки класичні реляційні бази даних віддають перевагу узгодженості та підтримці принципів ACID, жертвуючи доступністю та продуктивністю, що ускладнює їх горизонтальне масштабування [4]. Але до недоліків NoSQL баз даних можна віднести відсут-

ність підтримки SQL – потужного засобу взаємодії користувача з базою даних та необхідність додаткового навчання персоналу для обслуговування певної NoSQL системи управління базами даних (СУБД). Оптимальним рішенням може стати використання баз даних часових рядів (Time Series Databases), прикладом якої є TimescaleDB. Появі цього окремого класу баз даних посприяли особливості даних часових рядів, серед яких можна виділити індексування даних відповідними часовими мітками, постійне збільшення обсягів, агрегування та здійснення вибірки у діапазонах, вимогливість до запису [5].

За результатами тестування TimescaleDB та реляційної бази даних PostgreSQL при записі та читанні даних, що передають стан датчиків і виконавчих механізмів для системи WinCC OA SCADA, швидкість обробки TimescaleDB становить 80000 рядків за секунду для одного вузла і 150000 рядків за секунду для двох вузлів, що у 2 та 3 рази вище, ніж показники PostgreSQL [6]. Результати тестування і порівняння TimescaleDB з такими NoSQL СУБД, як Redis, MongoDB, HBase, Cassandra и Riak TS при тестуванні чотирьох сценаріїв (імпорт даних, вибірка інформації про станцію відповідно до часового поясу, індексний запит та збільшення кількості запитів при вставці даних до баз даних) при зберіганні та аналізі масивних метеорологічних даних часових рядів показали, що TimescaleDB показує кращу продуктивність, ніж Redis, MongoDB, HBase, Cassandra та Riak TS, однак завантаження центрального процесора у TimescaleDB у конкретному сценарії може бути вище, ніж у MongoDB [7].

Мета дослідження. Завдання дослідження полягає у проектуванні архітектури програмної системи для зберігання та подальшого відтворення часової зв'язної моделі, що використовує базу даних, призначену для зберігання даних часових рядів.

Викладення основного матеріалу дослідження. У якості основного двигуна для зберігання даних пропонується розглянути TimescaleDB. TimescaleDB — це реляційна база даних для даних часових рядів. Вона реалізована як розширення для PostgreSQL, це означає, що вона фактично працює на сервері PostgreSQL як частина того самого процесу, з кодом, який вводить нові можливості для керування даними часових рядів, нові функції для аналізу даних, новий планувальник запитів і оптимізацію виконання запитів та нові механізми зберігання для ефективної аналітики [8]. Будь-які операції з базою даних PostgreSQL, що включає TimescaleDB (чи то SELECT, чи INSERT, чи керування схемою, як-от створення індексів), спочатку обробляються TimescaleDB, щоб визначити, як вони мають плануватися чи виконуватися зі структурами

даних TimescaleDB. Ця модель розширення дозволяє базі даних використовувати всі переваги PostgreSQL включаючи понад 40 типів даних (цілих чисел, плаваючих чисел, рядків, часових позначок, масивів і типів даних JSON), різні типи індексів, складні схеми бази даних, розширений планувальник запитів, а також більшу екосистему розширень, яка добре працює з TimescaleDB, що включає геопросторову підтримку через PostGIS, моніторинг за допомогою `pg_stat_statements`, обгортки іноземних даних тощо.

Основні виклики для бази даних, яка повинна опрацьовувати велику кількість часових даних, полягає у її масштабованості – здатності обробляти та зберігати велику кількість даних без втрат у продуктивності. Розглянемо дві основні концепції для масштабування, що використовує TimescaleDB: абстракції даних у вигляді гіпертаблиць (hypertables) і фрагментів (chunks) (як вони зберігаються та обробляються) і як TimescaleDB можна розгорнути на одному сервері з фізичними репліками або як кластер серверів із багатьма вузлами, щоб використати концепцію розподілених гіпертаблиць (distributed hypertables).

Гіпертаблиці та фрагменти. Гіпертаблиці та фрагменти дозволяють значно швидше зберігати та запитувати дані часових рядів. TimescaleDB автоматично розбиває дані часового ряду на частини або підтаблиці на основі часового ключа, або інших вказаних полів. Також можна налаштувати розмір фрагмента так, щоб останні фрагменти містилися в пам'яті для швидших запитів. Гіпертаблиця — це своєрідний шар абстракції над фрагментами, які містять власне дані часового ряду (рис. 1). Гіпертаблиці дають змогу запитувати та отримувати доступ до даних з усіх фрагментів гіпертаблиці. Таким чином дана концепція надає переваги автоматичного розподілу даних часових рядів, а також простоту роботи, оскільки з огляду на інтерфейс гіпертаблиця виглядає як стандартна єдина таблиця PostgreSQL [9].

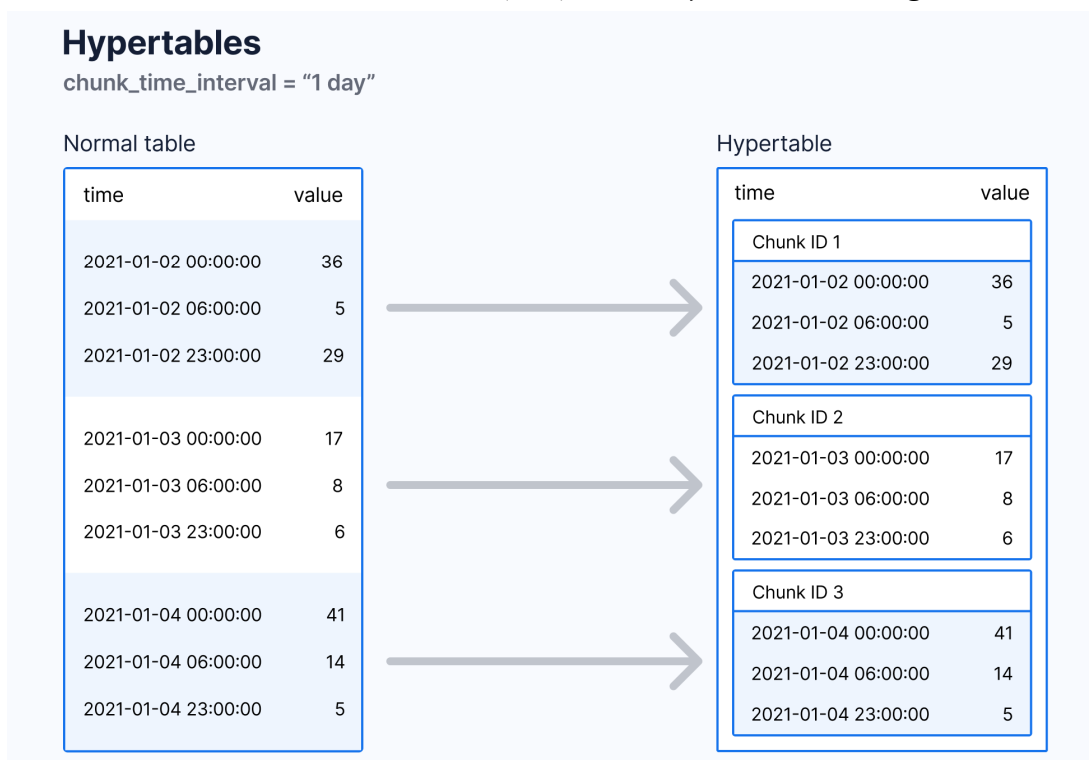


Рисунок 1 – Візуалізація гіпертаблиці та фрагментів

Поділ на фрагменти. Фрагменти створюються шляхом поділу даних гіпертаблиці на один (або потенційно кілька) вимірів. Усі гіпертаблиці розділені значеннями, що належать до стовпця часу, який може бути у мітці часу, даті або в різних цілочисельних формах. Наприклад, якщо інтервал розподілу часу становить один день, то рядки з мітками часу, які належать до одного дня, розміщуються в одному фрагменті, тоді як рядки, що належать до інших днів, належать до різних фрагментів.

TimescaleDB створює ці фрагменти автоматично, коли рядки вставляються в базу даних. Якщо мітка часу нововставленого рядка належить до дня, якого ще немає в базі даних, TimescaleDB створює новий фрагмент, що відповідає цьому дню, як частину процесу вставки. В іншому випадку TimescaleDB визначає існуючий блок, до якого належать нові рядки, і вставляє їх у відповідні блоки.

Інтервал поділу гіпертаблиці також може змінюватися з часом, щоб адаптуватися до змінних умов робочого навантаження. Гіпертаблиця може спочатку створювати новий фрагмент на день, а потім змінювати фрагмент наприклад для кожних 6 годин у міру збільшення робочого навантаження.

Гіпертаблиця також може бути розділена додатковими стовпцями, наприклад, ідентифікатором пристрою, ідентифікатором користувача тощо. Таке ро-

здійлення на цьому додатковому стовпці зазвичай використовує хешування. Такі гіпертаблиці, розділені як за часом, так і за цим додатковим виміром, називають як розділені за «часом і простором».

Розподілені гіпертаблиці. Розподілена гіпертаблиця існує для розподіленої бази даних, яка складається з кількох баз даних, що зберігаються на одному або кількох екземплярах TimescaleDB. База даних, яка є частиною розподіленої бази даних, може виконувати роль або вузла доступу (access node - AN), або вузла даних (data node - DN), але не обох (рис. 2).

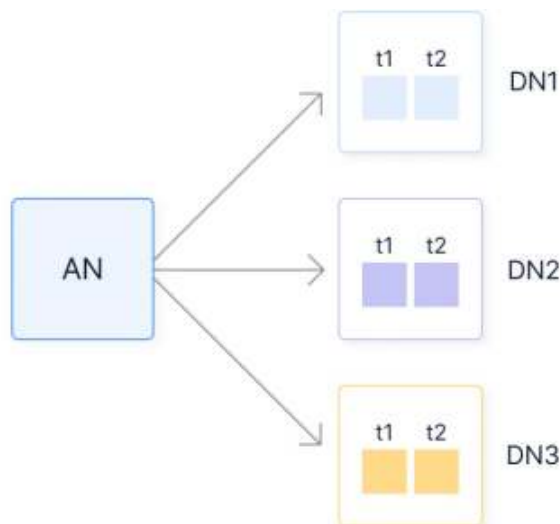


Рисунок 2 – Розподілена гіпертаблиця

Клієнт підключається до бази даних через вузол доступу. Потім вузол доступу розподіляє запити відповідним чином на вузли даних і об'єднує результати, отримані від вузлів даних. Вузли доступу зберігають всю кластерну інформацію про різні вузли даних, а також про те, як фрагменти розподіляються між цими вузлами даних. Вузли доступу також можуть зберігати нерозподілені гіпертаблиці, а також звичайні таблиці PostgreSQL [10].

Вузли даних не зберігають інформацію для всього кластера, і з точки зору моделювання виглядають так, ніби вони є окремими екземплярами TimescaleDB. Прямий доступ до гіпертаблиць або фрагментів на вузлах даних обмежено, оскільки це може призвести до неузгоджених розподілених гіпертаблиць.

Щоб забезпечити найкращу продуктивність, необхідно розділити розподілену гіпертаблицю за часом і простором. Якщо розділяти дані лише за часом, фрагмент першого вузла даних має повністю заповнитися, перш ніж вузол доступу вибере інший вузол даних для зберігання наступного фрагмента, тому протягом інтервалу часу цього фрагмента всі записи до останнього інтервалу

обробляються лише одним вузлом даних, на противагу тому коли навантаження збалансовано для всіх доступних вузлів даних. З іншого боку, якщо вказати розподіл простору, вузол доступу розподіляє фрагменти між кількома вузлами даних на основі розподілу простору, так що для даного інтервалу часу створюється кілька фрагментів, і як зчитування, так і запис у цей останній інтервал часу будуть балансування навантаження по кластеру.

Адаптація часової моделі. З огляду на концепцію зберігання часових даних у TimescaleDB з використанням розподілених гіпертаблиць пропонується адаптувати часову зв'язну модель для відображення цифрового двійника використовуючи вищезгадану концепцію. Для цього у якості ключа для розподілу простору пропонується обрати унікальний ідентифікатор модальності даних.

Таким чином розподіл темпоральних мультимодальних даних забезпечується власне самою базою даних TimescaleDB. Отже вибірка даних, згрупована за часом та модальністю працюватиме швидше, оскільки навантаження на пошук розподіляється в паралелі між кількома вузлами даних.

Для зберігання даних кожної модальності окремо існує можливість створити звичайну PostgreSQL таблицю, що матиме схему, адаптовану під кожну модальність (рис. 3).

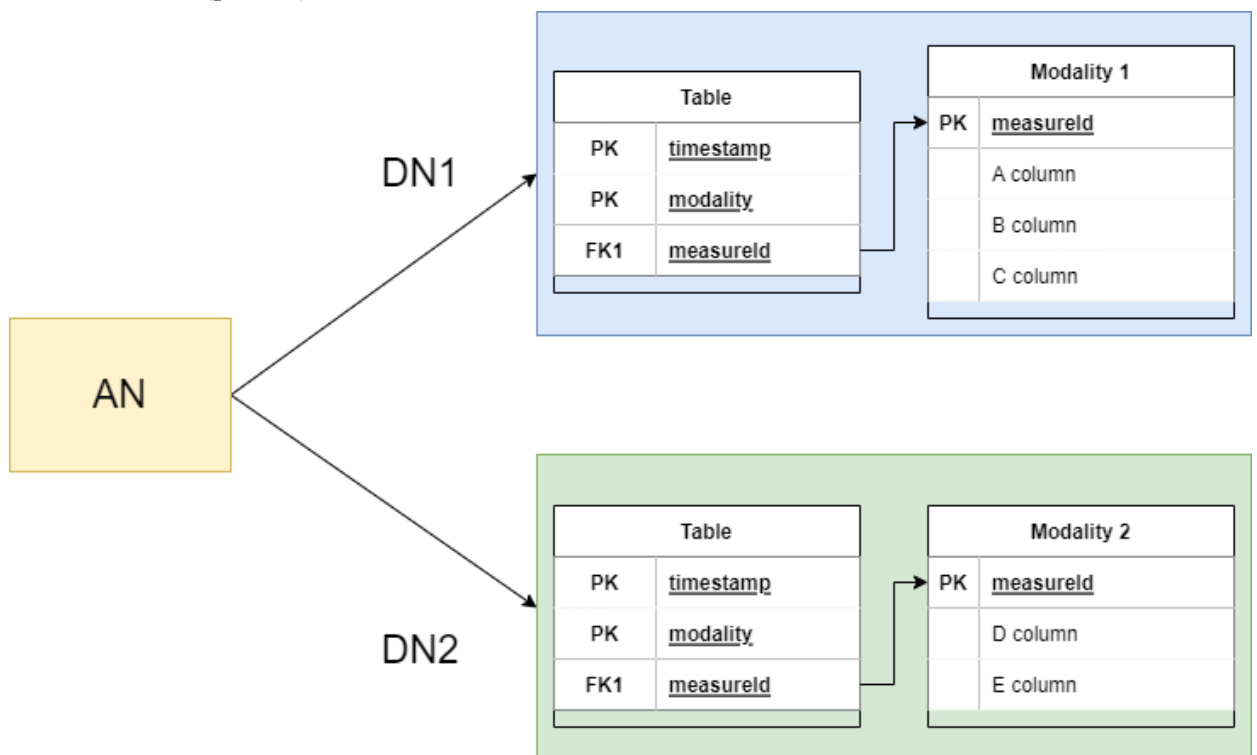


Рисунок 3 – Схема даних для розподіленої гіпертаблиці

Для програмної системи пропонується проектування трирівневої архітектури для забезпечення розподілення обов'язків у системі з наступними рівнями: рівень прийому даних, рівень зберігання та рівень обробки запитів до даних (рис. 4). Кожен рівень відповідно може незалежно масштабуватися. Така конструкція дозволить спростити кожен підсистему, розділивши відповідні обов'язки між ними, усунувши вузькі місця щодо масштабованості та знизити ймовірність виникнення пов'язаних збоїв.

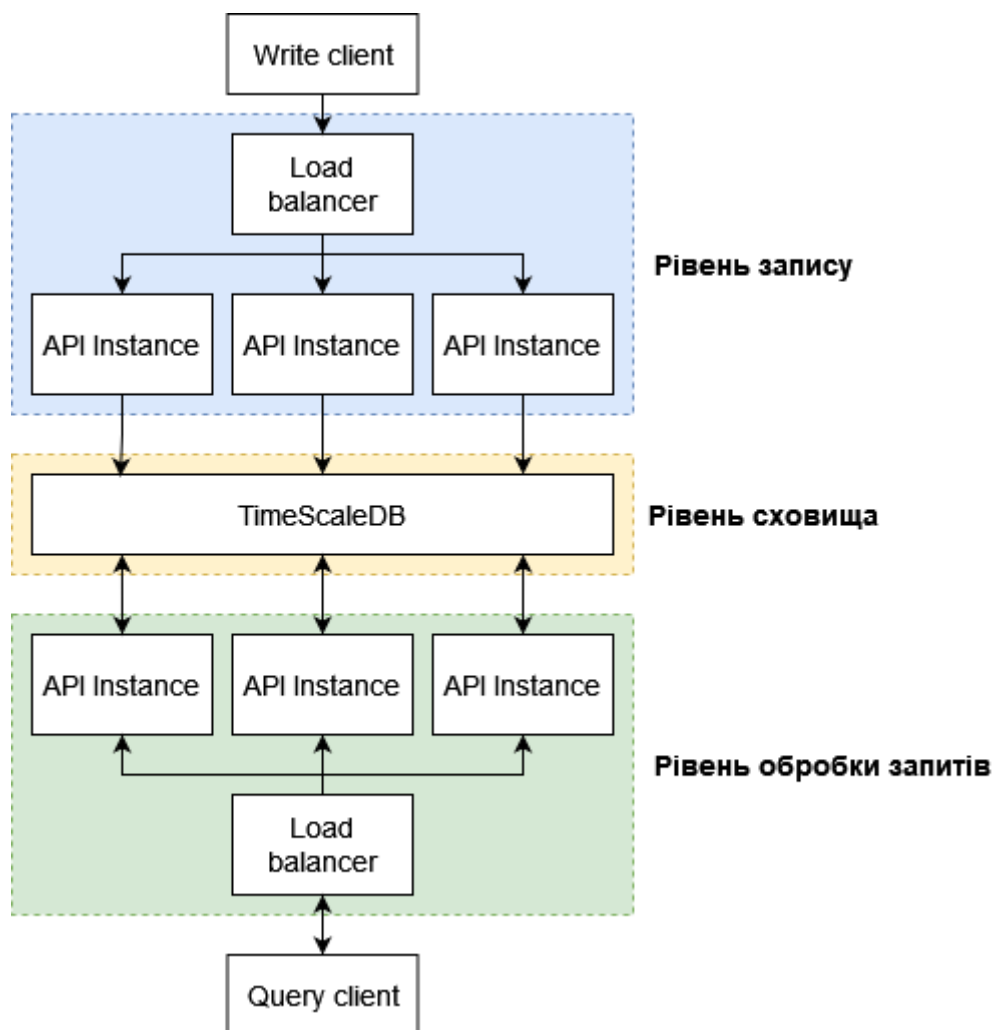


Рисунок 4 – Трирівнева архітектура

Рівень запису. На рівні запису пропонується розгорнути API сервіси, що будуть виконувати запити на створення рядків: попередньо валідувати та обробляти дані для подальшого запису на рівні сховища.

Під час запису даних сервіс має відповідним чином розділити запис, якщо він містить кілька модальностей, на кілька записів для кожної з таблиць модальностей та безпосередньо виконати запит на рівень сховища. Далі ці записи

будуть автоматично розподілені між вузлами даних, за індексами показника часу та значення модальності, відповідно до концепції гіпертаблиць.

Рівень сховища. На рівні сховища буде розгорнуто фактично TimescaleDB, яка дозволить ефективно зберігати дані та використовувати її потужності для безпосереднього запису та зчитування відповідно до концепції розподілених гіпертаблиць.

Рівень обробки запитів. На рівні обробки запитів буде розгорнуто API сервіси, які мають валідувати, агрегувати та виконувати відповідні отримані запити використовуючи рівень сховища.

Висновки. Запропонований спосіб для побудови часової зв'язної моделі цифрового двійника на основі TimescaleDB з використанням концепції гіпертаблиць дозволить досягти ефективного використання ресурсів за рахунок паралелізації навантаження під час пошуку даних, а трирівнева архітектура, спроектована для розподілення обов'язків програмної системи, здатна значно спростити імплементацію та подальшу обробку часової моделі цифрового двійника.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cimino C. Review of digital twin applications in manufacturing / C. Cimino, E. Negri, L. Fumagalli // Computers in Industry. – 2019. – Т. 113. – С. 103-130.
2. Liu M. et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications/ M. Liu // Journal of Manufacturing Systems. – 2020.
3. Сулема, Є. С. Методи, моделі та засоби обробки мультимодальних даних цифрових двійників досліджуваних об'єктів : дис. ... д-ра техн. наук : 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем / Сулема Євгенія Станіславівна. – Київ, 2020. – 343 с.
4. B. Shah. Performance Study of Time Series Databases / B. Shah, P. M. Jat, K. Sashidhar // Computer Science and Information Technology Trends. – 2022. Crossref. DOI: <https://doi.org/10.5121/csit.2022.121406>.
5. J. Mostafa. SciTS: A Benchmark for Time-Series Databases in Scientific Experiments and Industrial Internet of Things / J. Mostafa, S. Wehbi, S. Chilingaryan, and A. Kopmann // Proceedings of the 34th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM '22). Association for Computing Machinery. – New York, 2022. – Стаття 12. – С. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1145/3538712.3538723>.

6. M. Kammakomati. Performance Evaluation of TimescaleDB for Storage of Historical Data from WinCC OA SCADA Systems / M. Kammakomati // Zenodo. – 2021. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5541641>
7. Shen, L., Lou, Y., Chen, Y., Lu, M., Ye, F. Meteorological Sensor Data Storage Mechanism Based on TimescaleDB and Kafka / L. Shen, Y. Lou, Y. Chen, M. Lu, F. Ye // Data Science. ICPCSEE 2019. Communications in Computer and Information Science. – Singapore, Springer, 2019. – Вип. 1058 – С. 137-147. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0118-0_11
8. Freedman M. TimescaleDB vs. InfluxDB: Purpose Built Differently for Time-Series Data [Електронний ресурс] / M. Freedman, A. Sewrathan. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.timescale.com/blog/timescaledb-vs-influxdb-for-time-series-data-timescale-influx-sql-nosql-36489299877/>.
9. Hypertables and chunks [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.timescale.com/timescaledb/latest/overview/core-concepts/hypertables-and-chunks/#hypertables>.
10. About distributed hypertables [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.timescale.com/timescaledb/latest/how-to-guides/distributed-hypertables/about-distributed-hypertables/#about-distributed-hypertables>.

REFERENCES

1. Cimino C., Negri E., Fumagalli L. Review of digital twin applications in manufacturing //Computers in Industry. – 2019. – V. 113. – P. 103130.
2. Liu M. et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications //Journal of Manufacturing Systems. – 2020.
3. Sulema Ye. S. Methods, models, and means of researched objects digital twins multimodal data processing: The thesis for the degree of Doctor of technical sciences, specialty 01.05.03 – Mathematical Support and Software of Computers and Systems / Sulema Yevgeniya Stanislavivna. – Kyiv, 2020. – 343 p.
4. B. Shah, P. M. Jat, K. Sashidhar. Performance Study of Time Series Databases // Computer Science and Information Technology Trends. – 2022. Crossref. DOI: <https://doi.org/10.5121/csit.2022.121406>.
5. J. Mostafa, S. Wehbi, S. Chilingaryan, and A. Kopmann. SciTS: A Benchmark for Time-Series Databases in Scientific Experiments and Industrial Internet of Things // Proceedings of the 34th International Conference on Scientific and Statistical Data-

base Management (SSDBM '22). Association for Computing Machinery. – New York, 2022. – Article 12. – P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1145/3538712.3538723>.

6. M. Kammakomati. Performance Evaluation of TimescaleDB for Storage of Historical Data from WinCC OA SCADA Systems // Zenodo. – 2021.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5541641>

7. Shen, L., Lou, Y., Chen, Y., Lu, M., Ye, F.. Meteorological Sensor Data Storage Mechanism Based on TimescaleDB and Kafka // Data Science. ICPCSEE 2019. Communications in Computer and Information Science. – Singapore, Springer, 2019. – Vol. 1058 – P. 137-147. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0118-0_11

8. Freedman M. TimescaleDB vs. InfluxDB: Purpose Built Differently for Time-Series Data [Електронний ресурс] / M. Freedman, A. Sewrathan. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.timescale.com/blog/timescaledb-vs-influxdb-for-time-series-data-timescale-influx-sql-nosql-36489299877/>.

9. Hypertables and chunks [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу:

<https://docs.timescale.com/timescaledb/latest/overview/core-concepts/hypertables-and-chunks/#hypertables>.

10. About distributed hypertables [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу:

<https://docs.timescale.com/timescaledb/latest/how-to-guides/distributed-hypertables/about-distributed-hypertables/#about-distributed-hypertables>.

Received 03.05.2022.

Accepted 06.05.2022.

Design of an architecture for storing a time connected model of a digital twin

Recently, in connection with the development of information technology, digital twin technology has become widespread, which allows replacing physical and analog resources with digital ones. The digital twin is also a relevant and effective method of real-time interaction. However, with a wealth of real-time data and information from the digital twin, it is difficult to present them intuitively to users and operators.

A digital twin for the study of an arbitrary object can formally be represented as mathematical abstractions designed for efficient processing of temporal multimodal data of the object under study. Based on the above abstractions and their application for the formal specification of the digital twin, the so-called multiimage is built, which actually provides a formal description of the sequences of multimodal data about the object under study, obtained taking into account time as a result of measurement, generation and other related data acquisition operations. As a result of the study, a sequence of discrete

states of the object under study is formed, each of which can be characterized by a set of temporal multimodal data associated with a specific moment in time, which actually serves as a temporal key for a certain state of the object.

The purpose of the study is to design the architecture of a software system for storing and then reproducing a temporal connected model using a database designed to store time series data. TimescaleDB, a relational database for time series data, is proposed as the main data storage engine. The main challenges for a database that must process a large amount of temporary data is its scalability - to process and store a large amount of data without performance degradation.

The proposed method for building a temporal connected model of a digital twin based on TimescaleDB using the concept of hypertables will achieve efficient use of resources by parallelizing the load when searching for data, and a three-level architecture designed to distribute the responsibilities of a software system can greatly simplify the implementation and subsequent processing of a temporal model of a digital twin.

Згуровський Ярослав Юрійович – магістрант кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Сулема Євгенія Станіславівна – д.т.н., доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Саяпіна Інна Олександрівна – к.т.н, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Zgurovsky Yaroslav Yuriyovych - Master's student of the Computer Systems Software Department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

Sulema Yevgeniya Stanislavivna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Computer Systems Software Department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

Saiapina Inna Oleksandrivna - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Computer Systems Software Department, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

АЛГОРИТМИ ПРЯМОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОЗИЦІЙНОГО ЧИСЛА ДО СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ ТА ЙОГО ЗВОРТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. Підвищення швидкодії комп'ютерних структур пов'язане із залученням нових принципів, заснованих на використанні системи числення залишкових класів. При виконанні низки обчислювальних операцій з використанням непозиційної системи числення залишкових класів вирішується задача прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в систему числення залишкових класів та зворотного перетворення чисел із системи числення залишкових класів у позиційну систему. Ряд робіт містить способи реалізації цих операцій різної складності, але їхнє рішення далеке від досконалості. Результати дослідження вказують на можливість отримання більш ефективного рішення, що спрощує практичну реалізацію операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення до системи числення залишкових класів та зворотного перетворення чисел. Метою дослідження є аналіз реалізації операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в систему числення залишкових класів та зворотного перетворення чисел. Інструментами методології дослідження є системний аналіз, теорія чисел та китайська теорема про залишки. Методологія дослідження полягає в аналізі спеціальних таблиць залишків за модулями. Пропонується алгоритм виконання складних операцій, що ґрунтується на використанні поліадичного коду числа, представленого в системі числення залишкових класів. Пропонується простий та ефективний підхід з використанням ітераційних табличних операцій із залишками. Для кожного значення заданих залишків константи знаходять шляхом простої вибірки відповідної таблиці. Метод, що лежить в основі реалізації цих складних операцій, полягає в підсумовуванні обраних констант до шуканого значення, при цьому відповідні константи віднімаються від значень відомих залишків до звернення останнього в нуль. Метод алгоритмічно простий і нескладний для схемної реалізації, і його слід розглядати як один із напрямків досліджень щодо підвищення ефективності обчислень у системі залишкових класів.

Ключові слова: залишкові класи; системи модулів; таблиці; пряме та зворотне перетворення чисел.

Постановка проблеми. Підвищення швидкодії обчислювальних структур пов'язано нині із залученням нових принципів на підставі використання системи залишкових класів (СЗК) [1]. Система числення залишкових класів - це си-

стема, в якій довільне число представлено у вигляді набору найменших невід'ємних залишків по модулях p_1, p_2, \dots, p_n , тобто $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$. Тут $\alpha_i = N \pmod{p_i}$. При цьому, якщо числа p_i взаємно прості, то такому представленню відповідає тільки одне число N в діапазоні $[0, M)$, де $M = p_1 p_2 \dots p_n$.

У СЗК арифметичні операції складання, віднімання та множення виконуються із залишками незалежно один від одного за простими правилами. Тому операції над розрядами можна виконувати одночасно, що забезпечує високий рівень паралелізму. До переваг такого представлення чисел належить також мала розрядність залишків, висока точність і надійність, здатність системи до самокорекції. Однак виникають серйозні труднощі при реалізації немодульних операцій, для виконання яких необхідне знання цифр операндів за всіма розрядами. До таких немодульних операцій відносяться, зокрема, пряме перетворення чисел із позиційної системи числення у систему залишкових класів та зворотне перетворення чисел із СЗК у позиційну систему числення.

Формалізована постановка задачі наступна.

Нехай є деяка позиційна, наприклад, десяткова система числення $C1 = \{m_n = 10^{n-1}, \dots, m_2 = 10^1, m_1 = 10^0\}$, $M_1 = 10^n$, система залишкових класів $C2 = \{p_1, p_2, \dots, p_r\}$, $M_2 = p_1 p_2 \dots p_r$ і число N у системі $C1$ $N = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n$ таке, що $N < \min\{M_1, M_2\}$. Необхідно для числа $N = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n$, представленого в $C1$, виконати перетворення на представлення $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r)$ цього числа в СЗК $C2$, де $\alpha_i = N \pmod{p_i}$. Другим етапом є зворотне перетворення числа N до системи $C1$.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ряд робіт, наприклад [2, 3] містить різні за складністю методи реалізації даних операцій, однак розв'язання їх далеко від досконалості. Результати виконаних досліджень свідчать про можливість отримання більш ефективного рішення, яке дозволяє де-що спростити практичну реалізацію операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в СЗК та зворотне перетворення чисел.

Формулювання мети дослідження. Метою дослідження є аналітичний розгляд СЗК для реалізації операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в систему залишкових класів та зворотне перетворення чисел.

Виклад основного матеріалу. Алгоритм прямого перетворення розглянемо на прикладі перетворення, наприклад, числа $N = 97$, тобто $\varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 7$ у його представлення $N = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ у системі модулів $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 3$. Для цього необхідні наведені нижче табл.1, табл.2.

Таблиця 1

Модулі				
5			7	3
π_1	δ_1	α_1^1	α_2^1	α_3^1
0	0	0	0	0
1	10	0	3	1
2	20	0	6	2
3	30	0	2	0
4	40	0	5	1
5	50	0	1	2
6	60	0	4	0
7	70	0	0	1
8	80	0	3	2
9	90	0	6	0

Таблиця 2

Модулі				
5			7	3
π_2	δ_2	α_1^2	α_2^2	α_3^2
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	0
4	4	4	4	1
5	5	0	5	2
6	6	1	6	0
7	7	2	0	1
8	8	3	1	2
9	9	4	2	0

Значення шуканих залишків приймається $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0, \dots, \alpha_r = 0$, тобто $N_0 = (0, 0, \dots, 0)$. На першій ітерації для $\varepsilon_1 = 9$ з табл.1 вибирається рядок $\alpha_1^1 = 0, \alpha_2^1 = 6, \alpha_3^1 = 0$, тобто $\tilde{N}_1 = (0, 6, 0)$, що підсумовується до $N_0 = (0, 0, \dots, 0)$. Отримуємо $N_1 = (0, 6, 0)$.

На другий ітерації для $\varepsilon_2 = 7$ з табл.2 вибирається рядок $\alpha_1^2 = 2, \alpha_2^2 = 0, \alpha_3^2 = 1$, тобто $\tilde{N}_2 = (2, 0, 1)$, що підсумовується до $N_1 = (0, 6, 0)$. Отримуємо $N_2 = (2, 6, 1)$.

Алгоритм зворотного перетворення ґрунтується на використанні поліадичного коду числа, представленого в СЗК.

Якщо системою модулів поліадичного коду також є система p_1, p_2, \dots, p_n , то число N в поліадичному коді представляється у вигляді

$$N = \pi_1 + \pi_2 p_1 + \dots + \pi_i p_1 p_2 \dots p_{i-1} + \dots + \pi_n p_1 p_2 \dots p_{n-1}, \quad \text{де } 0 < \pi_i \leq p_i - 1.$$

Тоді $\alpha_1 = N \pmod{p_1} = \pi_1$ та $\pi_1 = \alpha_1$.

.....

$$\alpha_i = (\pi_1 + \pi_2 p_1 + \dots + \pi_{i-1} p_1 p_2 \dots p_{i-1}) \pmod{p_i}$$

та $\pi_i p_1 p_2 \dots p_{i-1} = \alpha_i - (\pi_1 + \pi_2 p_1 + \dots + \pi_{i-1} p_1 p_2 \dots p_{i-2}) \pmod{p_i}$.

Отже, базовий алгоритм складається з наступних ітерацій.

Значення шуканого числа приймається $N_1^1 = 0$. На першій ітерації по кожному з модулів p_1, p_2, \dots, p_n визначається різниця між залишком по цьому модулю і значенням π_1 , взята по даному модулю, в результаті чого знаходиться значення $\pi_2 p_1$. Назвемо такі різниці наведеними залишками. У той самий час значення π_1 підсумовується з N_1^1 . На другій ітерації по кожному з модулів p_2, \dots, p_n визначається різниця між наведеним залишком по цьому модулю і значенням $\pi_2 p_1$, взятим по даному модулю. У результаті знаходиться значення $\pi_3 p_1 p_2$, а значення $\pi_2 p_1$ підсумовується з отриманим раніш значенням залишку по модулю p_1 . Після виконання $n-1$ ітерацій отримуємо залишок α_n .

Робота алгоритму зворотного перетворення для переходу від представлення числа $N_1^1 = 97 = (2, 6, 1)$ в системі модулів $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 3$ до його представлення в позиційній десятковій системі числення за першим варіантом наступна.

До визначення значення числа приймемо початкове значення рівним нулю, тобто $N_1^1 = 0$.

На першій ітерації з табл.3 для $\alpha_1^1 = 2$ вибираємо константи 2, 2, 2 відповідно за модулями $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 3$, які віднімаємо із залишків 2, 6, 1. Отримуємо $N_1^1 = 95 = (0, 4, 2)$. З цієї ж табл.3 для $\alpha_1^1 = 2$ вибираємо константу $\Delta_1 = 2$, яку додаємо до залишку 0. В результаті отримуємо $N_1^1 = 2$.

Таблиця 3

Модулі					Константи Δ_1
5			7	3	
π_1	δ_1	α_1^1	α_2^1	α_3^1	
0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	0	3
4	4	4	4	1	4

Таблиця 4

Модулі				Константи Δ_2
7		3		
π_2	$\delta_2 = \pi_2 p_1$	α_2^2	α_3^2	
0	0	0	0	0
1	5	5	2	5
2	10	3	1	10
3	15	1	0	15
4	20	6	2	20
5	25	4	1	25
6	30	2	0	30

Таблиця 5

Модулі			Константи Δ_3
3			
π_3	$\delta_3 = \pi_3 p_1 p_2$	α_3^3	
0	0	0	0
1	35	2	35
2	70	1	70

На другій ітерації з табл.4 для $\alpha_2^2 = 4$ вибираємо константи 4, 1 відповідно по модулях $p_2 = 7, p_3 = 3$, які віднімаємо із залишків 4, 2. Отримуємо $N_1^2 = 70 = (0, 0, 1)$. З цієї ж табл.4 вибираємо константу $\Delta_2 = 25$, яку додаємо до залишку $N_2^1 = 2$. В результаті отримуємо $N_2^2 = 27$.

На третій ітерації з табл.5 для $\alpha_3^3 = 1$ вибираємо константу 1 по модулю $p_3 = 3$, яку віднімаємо з залишку 1. Отримуємо $N_1^3 = 0 = (0, 0, 0)$. З цієї ж табл.5 для $\alpha_3^3 = 1$ вибираємо константу $\Delta_3 = 70$, яку додаємо до залишку 27. В результаті отримуємо $N_2^3 = 97$.

Для другого варіанту алгоритму зворотного перетворення числа скористу-

ємось представленням чисел у зворотному коді [4].

При заданні числа N залишками число $\bar{N} = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_n)$ є представленням числа $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ у зворотному коді, де $\bar{\alpha}_i = (p_i - 1) - \alpha_i$ - зворотний код залишку α_i .

Зворотним кодом числа $N_1^1 = 97$ у системі модулів $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 3$, $M_1 = p_1 p_2 p_3 = 5 * 7 * 3 = 105$ є число $\bar{N}_1^1 = 7 = (2, 0, 1)$.

До визначення значення числа приймемо початкове значення рівним $M_1 - 1 = p_1 p_2 p_3 - 1 = 5 * 7 * 3 - 1 = 104$, тобто $\bar{N}_2^1 = 104$.

На першій ітерації з табл.3 для $\bar{\alpha}_1^1 = 2$ вибираємо константи 2, 2, 2 відповідно за модулями $p_1 = 5, p_2 = 7, p_3 = 3$, які віднімаємо від залишків 2, 0, 1. Отримуємо $\bar{N}_1^1 = 5 = (0, 5, 2)$. З цієї ж табл.3 для $\bar{\alpha}_1^1 = 2$ вибираємо константу $\bar{\Delta}_1 = 2$, яку віднімаємо від $M_1 - 1 = 104$. В результаті отримуємо $\bar{N}_2^1 = 102$.

На другій ітерації з табл.4 для $\bar{\alpha}_2^2 = 5$ вибираємо константи 5, 2 відповідно по модулях $p_2 = 7, p_3 = 3$, які віднімаємо із залишків 5, 2. Отримуємо $\bar{N}_1^2 = 0$. З цієї ж табл.4 вибираємо константу $\bar{\Delta}_2 = 5$, яку віднімаємо із $\bar{N}_2^1 = 102$. В результаті отримуємо $\bar{N}_2^2 = 97$.

Отже, результат перетворення спочатку досягається за другим варіантом. Тому є доцільним одночасне виконання обох варіантів.

Таким чином, розглянуті алгоритми забезпечують пряме перетворення чисел із позиційної системи числення в систему залишкових класів та зворотне перетворення чисел.

Висновки. Досліджено метод реалізації з використанням системи залишкових класів проблемної операції прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в систему залишкових класів та зворотне перетворення чисел. На основі запропонованого підходу досягається виконання шуканої операції. Представляється доцільним застосувати запропонований підхід в якості перспективного напрямку досліджень складних операцій в системі залишкових класів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. М.: Советское радио. 1968. 440 с.
2. Кнут Д. Искусство программирования / Д.Кнут. – М.: Диалектика-Вильямс, 2013. – 832 с.
3. Лавриненко А.Н., Червяков Н.И. Исследование немодульных операций в системе остаточных классов. *Научные ведомости, Серия История. Политология. Экономика. Информатика*. 2012. №1 (120). Вып. 21/1 с. 110-122.
4. Полисский Ю.Д. Алгоритм выполнения сложных операций в системе остаточных классов с помощью представления чисел в обратных кодах. *Электронное моделирование*. Киев. 2014. №4 Т. 36. С. 117–123

REFERENCES

1. Akushsky I.Ya., Yuditsky D.I. Machine arithmetic in residual classes. M.: Soviet radio. 1968. 440 p.
2. Knut D. The Art of Programming / D.Knut. - M.:Dialectics-Williams, 2013. - 832 p.
3. Lavrinenko A.N., Chervyakov N.I. Study of non-modular operations in the system of residual classes. Scientific sheets, Series History. Political science. Economy. Informatics. 2012. No. 1 (120). Issue 21/1 p.110-122.
4. Polissky Yu.D. An algorithm for performing complex operations in the system of residual classes using the representation of numbers in inverse codes. Electronic modeling. Kyiv. 2014. No. 4 V. 36. S. 117–123.

Received 10.05.2022.

Accepted 12.05.2022.

Algorithms of direct transformation of a position number to the system of residual classes and its inverse transformation

Increasing the speed of computer structures is associated with the involvement of new principles based on the use of the number system of residual classes. When performing a number of computational operations using a non-positional number system of residual classes, the problem of direct conversion of numbers from the positional number system to the number system of residual classes and the reverse conversion of numbers from the number system of residual classes to the positional one is solved. A number of works contain methods for implementing these operations of varying complexity, but their solution is far from perfect. The results of the study indicate the possibility of obtaining a more efficient solution that simplifies the practical implementation of operations for direct conversion of numbers from the positional number system to the number system of residual classes and inverse conversion of numbers. The aim of the study is to analyze the implementation of the operations of

direct conversion of numbers from the positional number system to the number system of residual classes and the reverse conversion of numbers. The tools of the research methodology are system analysis, number theory and the Chinese remainder theorem. The research methodology consists in the analysis of special tables of residues by modules. An algorithm for performing complex operations based on the use of a polyadic code of a number presented in the number system of residual classes is proposed. A simple and efficient approach is proposed using iterative table operations with residuals. For each value of the given residuals, the constants are obtained by a simple selection from the corresponding table. The method underlying the implementation of these complex operations is to sum the chosen constants to the desired value, while the corresponding constants are subtracted from the values of the known remainders until the latter vanishes. The method is algorithmically simple and uncomplicated for circuit implementation, and it should be considered as one of the areas of research to improve the efficiency of computations in the system of residual classes.

Поліський Юрій Давидович - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Заслужений винахідник України, Науково-дослідний інститут автоматизації чорної металургії (НДІАчормет) м. Дніпро.

Polissky Yuriy Davydovych - Candidate of technical science, senior researcher, Honored Inventor of Ukraine, Research Institute of Automation of Ferrous Metallurgy (NDIAchormet), Dnipro.

DATABASE FOR NUMERICAL SIMULATION OF GAS FLOWS IN A GAS JET GRINDER

Annotation. The process of material jet grinding is analyzed from the point of view of the granulometric material composition changing in the main elements of the grinding plant. A database of dependencies connecting the technological parameters of the process and the acoustic signal characteristics of the mill operating zones has been created. The advantage of the approach to building mathematical models and creating an automatic control system based on the developed database is the ability to accurately describe most of the factors affecting the grinding efficiency, the possibility of describing with the necessary details for specific material grinding and obtaining the required size of the ready product. The use of connections between acoustic signals and technological parameters makes it possible to take into account the patterns of changes in the material particle size distribution during the passage of the flow in the grinding plant channels and respond to changes in the product quality or the grinding mode on-line, without wasting time on transport delays.

Keywords: jet grinding, acoustic signal, database, productivity, amplitude.

Introduction. Grinding processes in ore processing technology are the most energy intensive. The costs of these processes amount to 30-50% of the cost of mining and processing. The performance of all subsequent stages of material processing, and ultimately the efficiency of the entire factory, depends on the quality of grinding.

The current level of the mathematical apparatus development, simulation methods allow us to expand our understanding of the grinding processes essence, to build more advanced mathematical models of grinding plants as a control object. These models help to solve technological problems of grinding while stabilizing the yield of the ready product of a given size class without increasing energy consumption.

Existing automatic process control systems allow solving only one of the tasks: either stabilizing the mass yield of the ready product, or reducing the energy consumption of the grinding plant. Therefore, the task of complex automation of the

grinding process in order to stabilize the ready product and at the same time reduce the energy intensity of the process is relevant.

The Institute of Technical Mechanics of the NASU and SSAU has developed a method for monitoring jet grinding based on the acoustic signal analysis of operating areas. For further development of the automatic control system and mathematical modeling of the process, it is necessary to establish the main patterns, the connections technological parameters with acoustic characteristics.

Purpose of the work – development of a database for numerical simulation of gas flows in a jet mill based on the results of process acoustic monitoring.

To conduct the grinding process in the most efficient mode, it is necessary to ensure maximum productivity, the demanded product quality and minimize the specific energy costs. Studies have shown [1] that the jet mill productivity depends on the filling of the jets with material. Moreover, incomplete loading reduces productivity, and overflow of the chamber leads to an emergency and stop the mill operation. Therefore, this process must be controlled and kept at the desired level, which is proposed to be implemented based on the analysis of the acoustic signals of the operation zones of the mill: the chamber and the zone behind the classifier.

Main research. Fig. 1 shows a functional diagram of an automatic control system (ACS) for a jet mill, where the designations are used: B - a loading hopper, GCh - a grinding chamber, C - a classifier, Qc - a ready product bin with quality control, Aav - signal processing and filtering in the grinding chamber, Acav - signal processing in the zone behind the classifier.

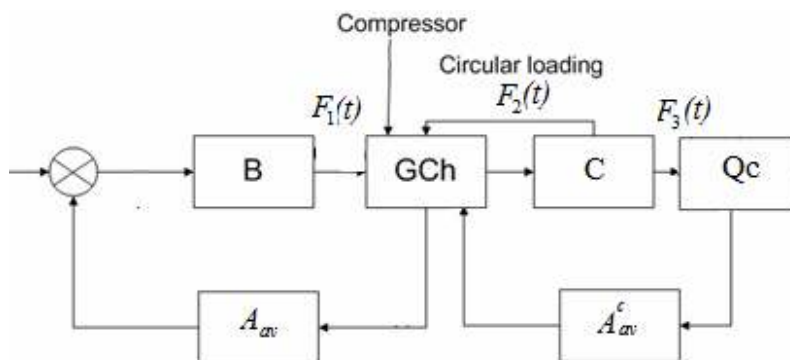


Figure 1 - Functional diagram of the ACS of the jet mill

By analyzing the characteristics of acoustic signals [2], the dependences of the magnitude of the signal amplitude on the grinding mode were established, i.e. from loading the camera. This allows you to create a base of main parameters for model-

ing the grinding process and creating an automatic control system for the operation of the mill.

The task signal is formed on the basis of modeling mass flows, taking into account technological conditions (energy carrier parameters, classification mode), properties and fineness of the source material, as well as the results of the acoustic signal analysis from the operation zones of the grinding plant. In particular, for grinding slag, it was found that the optimal operation mode of the grinding plant was achieved when the signal level from the acoustic sensor was $A = 1.2$ V, for quartz - 0.9 V. The lower limit of the allowable range of signals during the implementation of grinding is $A_{min}=0.003$ V, with these signals (the state of an empty chamber), grinding does not occur. Based on this, a task signal is formed at the input of the ACS. Fig. 2 shows the change in the amplitude of acoustic signals in the grinding chamber during the grinding of quartz. The operating mode of grinding is observed from 40 s to 140 s, and then the chamber is slowly unloaded.

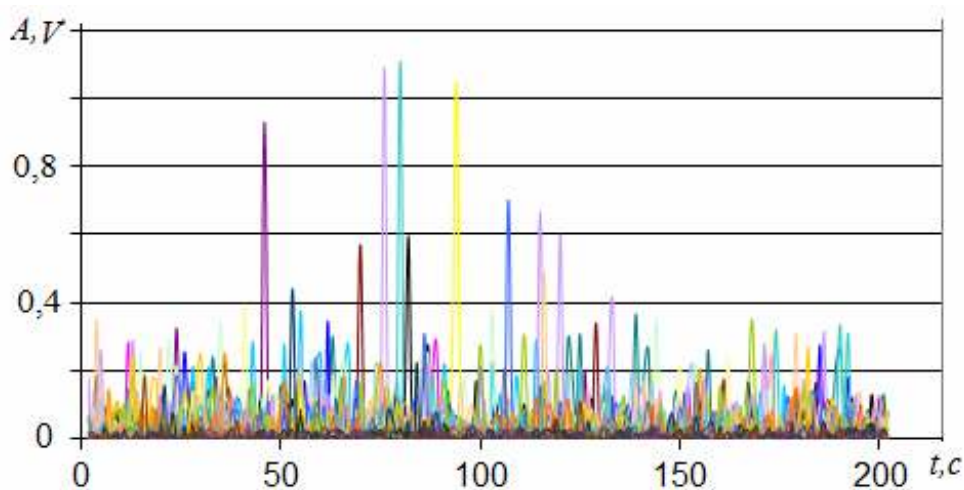


Figure 2 - Changes in the signal amplitude at the grinding process

From the standpoint of control, the most difficult process is the continuous ore grinding. The complexity of control lies in the fact that the optimal mode is in close proximity to the stability limit, which is associated with uneven circulation loads. The process of jet grinding has a number of specific features [2 - 3]. For simulation it is necessary to take into account the changes in the properties of the supplied ore, technological parameters, changes in the circulation load, and the yield of the ready product.

One of the most important factors determining the kinetics of grinding is grindability, which characterizes the propensity of the material to destruction. The strength properties of ores vary over a wide range and manifest themselves differ-

ently under various grinding conditions, so the first block of the database consists of the characteristics of ores, their tendency to grind. The second block of data, closely related to the first, includes the technological parameters of grinding established during preliminary test grinding of a particular material, namely the pressure and temperature of the working medium (gas, air, steam), classification mode (speed of the classifier rotor), size of the initial and ready material. The functional dependence of the acoustic signals amplitude of the grinding zone on the mill productivity, the mill load factor, the speed of the classifier rotor is derived [3].

The database includes dependencies that connected material flows in the main blocks of the grinding plant and the characteristics of acoustic signals.

The equation describing the flow of the initial material from the loading hopper depends on the shape of the hopper [4], its outlet area S and the velocity $v(t)$ of the material flow

$$F_1 = f(S, v(t)). \quad (1)$$

The relationship between the amplitude of the acoustic signals of the grinding zone and the productivity of the jet mill is described by the equation:

$$Q(t) = 8,741 A_{av}(t) + 0,074 \quad (2)$$

where $Q(t)$ - product output, kg/h, A_{av} - average amplitude, V.

The circulating load has a great influence on the grinding process. The experimental dependence of the value of the average circulation load C_{ch} from the degree K_{ch} chamber filling (Fig. 3).

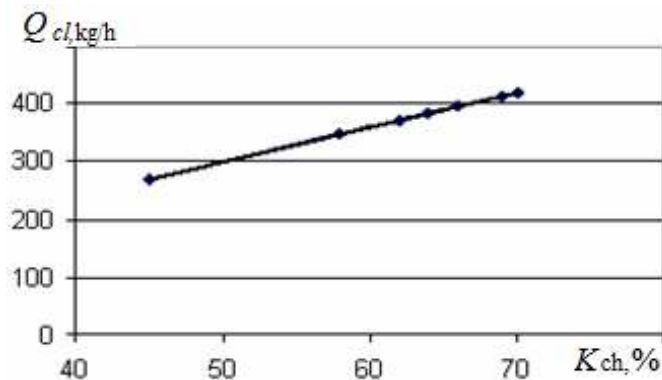


Figure 3 - Dependence of the circulating load on the grinding chamber filling

For acoustic quality control of the ready product it is necessary to know the dependence of the maximum amplitude on the particle size of the material. The general form of this dependence has been established, which has a linear character, however, the dependence coefficients are different and determined for all the study-

ing materials. For example, for slag and quartz, the dependence has the form, respectively:

$$\begin{aligned} \bar{A} &= 6,32 d - 0,84, R=0,98; \\ \bar{A} &= 1,6 d + 0,023, R=0,98; \end{aligned} \quad (3)$$

The scheme of the developed database of the jet grinding process, which takes into account the connection of technological and acoustic parameters, is shown in fig. 4.

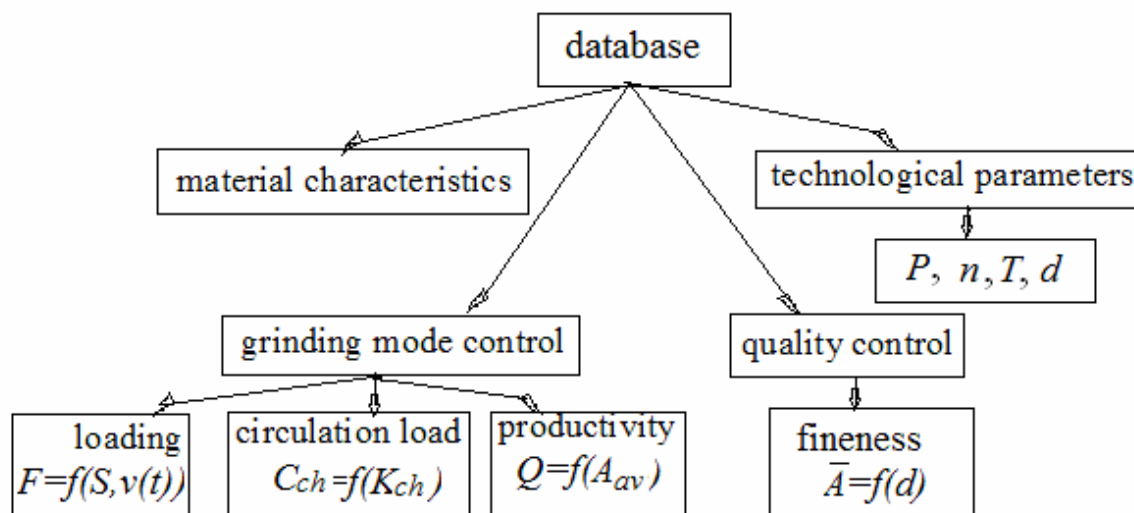


Figure 4 - Database schema

The developed database provides the creation of an automatic control system to maintain a rational grinding mode, in which the maximum productivity is realized for a given fineness class of the ready product, which leads to a reduction in the mill energy consumption. The main advantage of the approach to building mathematical models and creating an automatic control system based on the developed database is the ability to accurately describe most of the factors affecting the grinding efficiency, the possibility of describing with the necessary detail for grinding a specific material and obtaining the required size of the ready product.

Conclusions. A database of the jet grinding process based on the relationship between technological and acoustic parameters has been developed. This makes it possible to take into account the patterns of changes in the granulometric composition of the material during the passage of the flow in the channels of the grinding plant and respond to changes in the quality of the grinding product in the on-line mode, without wasting time on transport delays.

REFERENCES

1. Pryadko N.S., Muzyka L.V., Strelnikov H.A., Grenev A.F. Control of mass flow in jet mill on base of acoustic monitoring Scientific Bulletin of National Mining University. – 2019. – № 4. – P. 5-10. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-4/3>.
2. Acoustic monitoring of jet grinding / N.S. Pryadko, K.V. Ternova; NAS of Ukraine, Institute of Technical Mechanics of NAS of Ukraine and SSA of Ukraine. — Kyiv : Akadem periodyka, 2020. — 192 p.
3. Pryadko N.S., Muzyka L.V., Ternova E.V. Regression analysis of the experimental results of the operation of a jet grinding plant with acoustic monitoring// Collection of science works of the National Mining University - Dn-sk. - 2018. - No. 55 - P. 238 - 247.
4. Pryadko N.S., Muzyka L.V. Automatic control of jet grinding modes // System Technologies No. 3 (122). - 2019. S. 110-116.
5. Pryadko N.S., Muzyka L.V., Strelnikov H.A., Ternova K.V., Verhorobina I.V. Acoustic method of jet grinding study and control // E3S Web of Conferences 109, 00074 (2019) Essays of Mining Science and Practice 2019 p.1-11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900074>

Received 12.05.2022.

Accepted 16.05.2022.

***База даних для чисельного моделювання потоків газу
в газоструминній подрібнювальній установці***

Процеси подрібнення в технології переробки руди є найбільш енергоємними. Витрати на ці процеси становлять 30-50% вартості видобутку та переробки. Від якості подрібнення залежить продуктивність усіх наступних етапів обробки матеріалу, а в кінцевому підсумку і ефективність роботи всього заводу. Для максимально ефективного проведення процесу подрібнення необхідно забезпечити максимальну продуктивність, необхідну якість продукції та мінімізувати питомі енергетичні витрати. Дослідження показали, що продуктивність струминного млина залежить від заповнення струменів матеріалом. Тому цей процес необхідно контролювати і підтримувати на необхідному рівні.

В роботі проаналізовано процес струминного подрібнення матеріалу з точки зору зміни гранулометричного складу матеріалу в основних елементах подрібнювальної установки. Для акустичного контролю якості готового виробу необхідно знати залежність максимальної амплітуди від розміру частинок матеріалу. Дослідженнями встановлено загальний вигляд цієї залежності, що має лінійний характер, однак коефіцієнти залежності різні і визначені для всіх

досліджуваних матеріалів. На основі досліджень створено базу даних залежностей, що зв'язують технологічні параметри процесу та характеристики акустичного сигналу робочих зон млина. Перевагою підходу до побудови математичних моделей та створення системи автоматичного керування на основі розробленої бази даних є можливість точного опису більшості факторів, що впливають на ефективність подрібнення, можливість опису з необхідними деталями для подрібнення конкретного матеріалу та отримання готового матеріалу необхідного розміру. Використання зв'язків між акустичними сигналами та технологічними параметрами дає можливість враховувати закономірності зміни гранулометричного складу матеріалу при проходженні потоку в каналах подрібнювальної установки та реагувати на зміну якості продукції або режиму подрібнення on-line, не витрачаючи час на транспортні затримки.

Прядко Наталія Сергіївна – провідний науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, д.т.н., с.н.с.

Музика Лев Володимирович – науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.

Прядко Олександр Валерійович – інженер 1 категорії Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України.

Pryadko Nataliya Sergiivna – Leading Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Doctor of Technical Sciences.

Muzyka Lev Volodimirovich – Researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Candidate of Technical Sciences.

Pryadko Oleksandr Valeriiovych - 1st category engineer of Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine.

Ю.С.Тарасенко, В.Ю.Клим

БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ПОЗИЦІЙ ЗНИЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ РИЗИКІВ

Анотація. Запропонована структурно-лінгвістична схема методології побудови системи захисту та безпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) з позицій зниження результативності ризиків. Виконано аналіз Системи оцінювання ризику безпеки сукупності ОКІ та доступу до неї. Вона фактично має універсальну структуру та може бути використана в будь-якій організованій сфері діяльності соціуму незалежно від виду галузі, розмірів організації, рівня професіоналізму штатного персоналу, відповідального за безпеку. Обґрунтована доцільність підвищених зобов'язань щодо метрологічної надійності засобів вимірювання з метою виконання жорстких вимог з оцінки ризиків кібербезпеки в умовах реалізації принципу невизначеності при забезпеченні достовірності вимірювань. Ключові слова: системи захисту та безпеки, системи оцінювання ризику безпеки.

Постановка проблеми. В основі штатної працездатності об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ), відповідно до методології побудови пізнавальної моделі їх захисту та безпеки [1], лежала процедура перевірки справжності доступу до них – аутентифікації. Реалізація останньої була розглянута з позицій стандартів України, які мають аналоги у межах ISO щодо оцінювання супутніх ризиків згідно фізичної та інформаційної безпеки. Саме з цих позицій менеджмента ризику (risk management) [2] – «скоординированных действий по руководству и управлению организацией в области риска» – продовжено аналіз запропонованої Системи оцінювання ризику безпеки сукупності об'єктів критичної інфраструктури (СОКІ) та доступу до неї з позицій зниження результативності ризиків. При цьому, із врахуванням вибору критеріїв ризику та «ступеню реалізації запланованих робіт і досягнення запланованих результатів» (тобто результативності [3. п.3.7.11]) доцільно розглянути наступні підсистеми: стандартів України [2,4-6] загального оцінювання ризику, які є аналоги у межах ISO; методів загального оцінювання ризику згідно IEC/ISO 31010 2013 (Додаток В) [4]; оцінювання втрат безпеки згідно ДСТУ ISO/IEC 27000:2019 (конфіденційності, цілісності, доступності, спостережності, автентичності, на-

дійності [7] та стійкості рубежів захисту [8]); фільтрації даних ризиків, згідно ДСТУ ISO/IEC 27001:2013 та підтримки прийняття рішень (ПсППР) доступу до СОКІ [9, Ст.1, п.1, поз.9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід звернути увагу, що в цих стандартах аспекти безпеки мають інформативний характер, де від провадження загального оцінювання ризику маємо деякі основні вигоди [4, с.2], а саме: розуміння ризику та його потенційного впливу на досягнення цілей; надання інформації особам, які приймають рішення; поліпшення розуміння ризиків з тим, щоб допомогти у вибиранні варіантів їх обробляння; ідентифікування важливих чинників, що сприяють ризикам, і слабких ланок у системах та організаціях; порівняння з ризиками в альтернативних системах, технологіях або підходах; обмінювання інформацією про ризики та невизначеності; допомога в установленні пріоритетів; запобігання інцидентам на основі розслідування їхніх причин та наслідків; вибирання різних форм обробляння ризику; задоволення регуляторних вимог; забезпечування інформацією, яка дає змогу оцінити, наскільки ризик потрібно прийняти, якщо брати до уваги попередньо визначені критерії; загальне оцінювання ризиків, пов'язаних з утилізацією продукції після закінчення строку її служби.

З наданих в стандарті [2, с.4,5] формулювань випливає, що загальне оцінювання ризику – це спільний процес: *ідентифікування ризику, аналізування ризику та оцінювання ризику*. Причому загальне оцінювання ризику повинно відповідати його (ризика) критеріям, які встановлюють на початку процесу оцінки ризику, а у разі потреби обов'язково переглядають та коригують. Більш того, необхідно враховувати умови для вибору критеріїв ризику, виходячи з оцінки їх значущості за підтримки процесів прийняття рішень, які мають бути узгоджені зі структурою управління ризиками та адаптовані до конкретних цілей та обсягів аналізованої діяльності згідно ДСТУ ISO 31000:2018 [5, п.6.3.4] (табл. 1).

Отже, оцінка ризику – це фактично процес, спрямований на досягнення цілей як за змістом (у різних галузях життєдіяльності соціуму), так і за призначенням (наприклад, як розробки проектів, технологій, продукції тощо), який, забезпечуючи ідентифікацію ризику, аналіз ризику та порівняльну оцінку ризику [5, п.6.4.1], має використовувати сучасну методологію побудови, у даному випадку СОКІ, з оптимізацією відомих та створенням нових систем контролю та управління доступу (СКУД) до них.

Умови для вибору критеріїв ризику (їх залежності)

Позначення	Зміст залежності умов від наступних чинників:
ВК.1	характеру та типу невизначеностей, які можуть вплинути на результати та досягнення цілей (як матеріальні, так і нематеріальні)
ВК.2	способу визначення та оцінки наслідків (як позитивних, так і негативних) та їх ймовірність
ВК.3	факторів, пов'язаних з часом
ВК.4	коректності та узгодженості застосовуваних методів вимірювань
ВК.5	порядку визначення рівня ризику
ВК.6	способу обліку комбінації та послідовності множинних ризиків
ВК.7	масштабу організації, підприємства, офісу та ін.

З метою запобігання несанкціонованому фізичному доступу, будь-яким пошкодженням та втручанню зі втратою (частковою або повною) конфіденційності, цілісності, доступності, спостережності, автентичності та надійності як службової інформації організації, так і цілісності виробничої системи організації з її засобами отримання, обробки та зберігання інформації необхідно виконати вибір методу оцінювання ризику та реалізації відповідного захисту, які суттєво залежать від наступних чинників: внутрішнього та зовнішнього середовища організації [5, п.5.4.1]; стійкості рубежів захисту зон безпеки і безпеки обладнання [8, п.А.11]; професіоналізму співробітників [5, п.5.4.2,3] у процесі прийняття рішень та змісту методів згідно [4, Додаток В (довідковий) с. 18-71] ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 у межах (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT), які викладено в таблиці 2.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні та аналізі запропонованої пізнавальної структурно-лінгвістичної схеми (СЛС) методології побудови Системи захисту та безпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) з позицій зниження результативності ризиків, згідно рекомендацій ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT) відносно п.3.12.4 [3] (рис.1).

Викладення основного матеріалу дослідження. Очевидно, що підвищення рівня захисту СОКІ, оцінювання втрат безпеки (згідно з гіпотетичним кіберінцидентам, які мають ймовірнісний характер), – це динамічний процес залучення ресурсів (методів, способів та алгоритмів) мультисервісної мережі зв'язку (криптографічних, каналних та інших) з її кореляційними пристроями, що фільтрують, реалізованими під конкретні вимоги (завдання) користувачів для передачі інформації, що захищається. Отже, вибір рівнів спрацьовування

кінцевих порогових блоків має багатoproфільний характер і залежить від задекларованих ймовірностей правильного виявлення чи пропуску кібератак чи кіберзагроз [1].

Таблиця 2

Методи загального оцінювання ризику

Позначення	Зміст методів
В.1	Мозкова атака
В.2	Структуроване чи напівструктуроване опитування
В.3	Метод Дельфі
В.4	Переліки контрольних запитань
В.5	Попереднє аналізування небезпечних чинників (РНА)
В.6	Метод HAZOP (HAZard and Operability study) – дослідження небезпечних чинників і працездатності
В.7	Аналізування небезпечних чинників і критичні точки контролю
В.8	Загальне оцінювання екологічного ризику
В.9	Структурований метод «Що – якщо» (SWIFT)
В.10	Аналізування сценарію
В.11	Аналізування впливу на діяльність (BIA)
В.12	Аналізування першопричин (RCA)
В.13	Аналізування видів і наслідків відмов (FMEA) і аналізування видів, наслідків і критичності відмов (FMECA)
В.14	Аналізування дерева відмов (FTA)
В.15	Аналізування дерева подій (ETA)
В.16	Аналізування причин і наслідків
В.17	Аналізування причинно-наслідкових зв'язків
В.18	Аналізування рівнів захисту (LOPA)
В.19	Аналізування дерева рішень
В.20	Загальне оцінювання надійності людини (HRA)
В.21	Аналізування діаграми «краватка-метелик»
В.22	Технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності
В.23	Аналізування паразитних впливів (SA) і аналізування паразитних схем (SCA)
В.24	Марковське аналізування
В.25	Імітаційне моделювання методом Монте-Карло
В.26	Байєсівська статистика та мережі Байєса
В.27	Криві FN
В.28	Індекси ризику
В.29	Матриця наслідків/ймовірностей
В.30	Аналізування витрат і вигод (CBA)
В.31	Багатокритерійне аналізування рішень (MCDA)

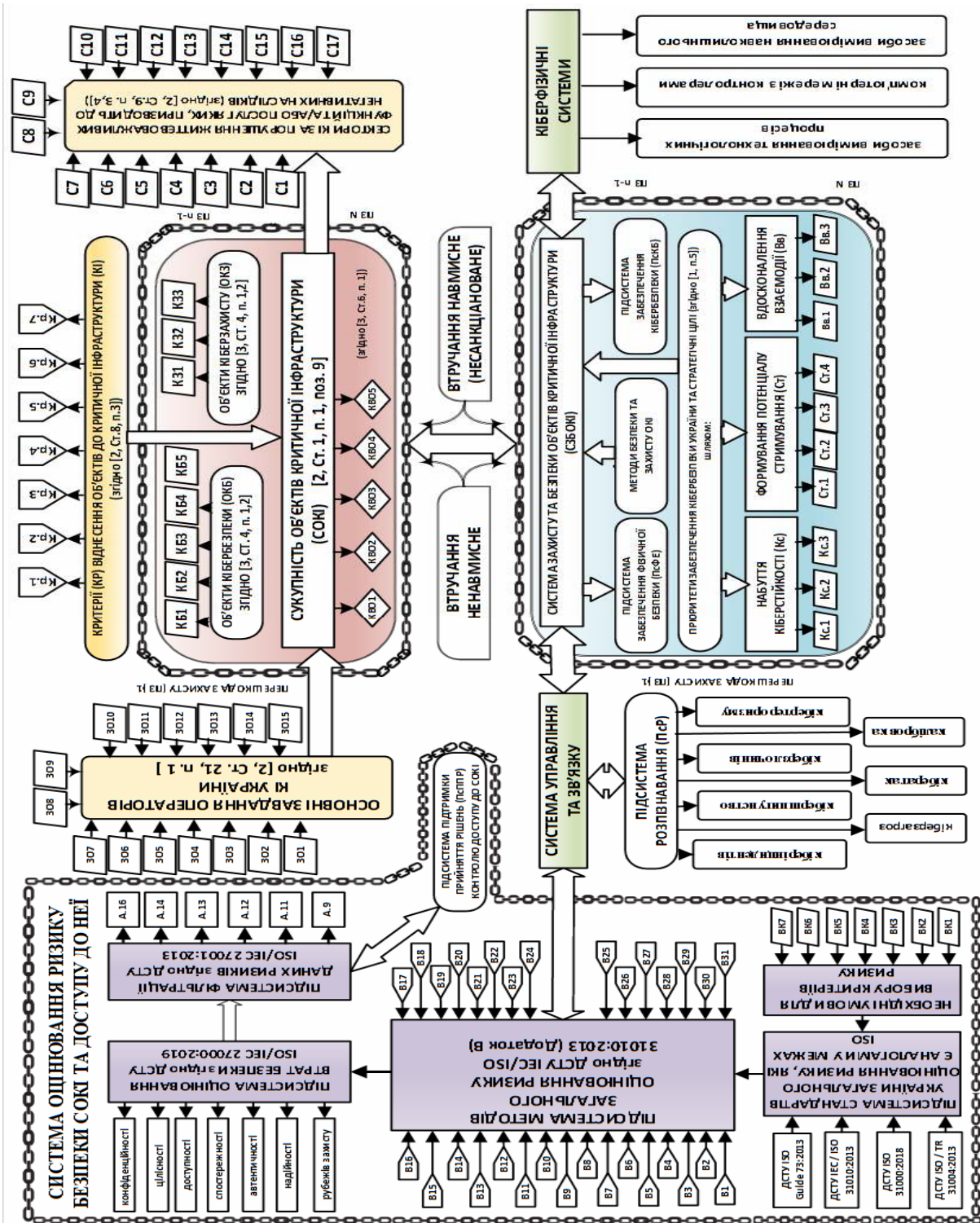


Рисунок 1 – Структурно-лінгвістична схема (СЛС) методології побудови Системи захисту та безпеки об’єктів критичної інфраструктури (ОКІ) з позицій зниження результативності ризиків

При цьому підсистема фільтрації даних ризиків виконує вирішальну роль щодо наступних об’єктів та процесів: управління доступом; зон фізичної без-

пеки та захисту від навколишнього середовища; безпеки під час обробки інформації; безпеки зв'язку; придбання, розробка та підтримка систем та управління інцидентами інформаційної безпеки. Причому детальний опис змісту аспектів, згідно вимог менеджменту інформаційної безпеки, наведено у [8], а найбільш важливі для процесів оцінки та обробки ризиків безпеки СОКІ висвітлені в таблиці 3. Хоча очевидно, що жодна підсистема фільтрації (обробки) даних ризиків не здатна забезпечувати 100% ефективність.

Таблиця 3

Аспекти процесів оцінки та обробки ризиків безпеки СОКІ

Позначення	Напрями та зміст аспектів
A.9	Управління доступом
A.11	Фізична безпека та захист від навколишнього середовища A.11.1 Зони безпеки A.11.2 Безпека обладнання
A.12	Безпека при обробці інформації A.12.1 Операційні процедури та відповідальність A.12.2 Захист від шкідливого ПЗ A.12.3 Резервне копіювання A.12.4 Логи та моніторинг A.12.5 Контроль системного програмного забезпечення (ПЗ) A.12.6 Управління технічними уразливістю A.12.7 Проведення аудиту інформаційних систем
A.13	Безпека зв'язку A.13.1 Управління безпекою мережі A.13.2 Передача інформації
A.14	Придбання, розробка та підтримка систем A.14.1 Вимоги безпеки до інформаційних систем A.14.2 Безпека при розробці та допоміжних процесах A.14.3 Тестові дані
A.16	Управління інцидентами інформаційної безпеки A.16.1 Управління інцидентами інформаційної безпеки та покращення

Наведені дані в таблиці 3 дозволяють оптимізувати доступ до СОКІ завдяки підсистемі підтримки прийняття рішень (ПсППРД) доступу до СОКІ. Ця підсистема завжди функціонуватиме в умовах «невизначеності», у тому числі залежної від зміни кліматичних умов навколишнього середовища. Причому, в ДСТУ ISO 31000:2018 [5, п.3.1, Примітка 5], акцентують увагу на тому, що «неопределённость – это состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события (3.5), его последствий (3.6) и их вероятностей», де мають місце наступні формулювання: «событие (event): - воз-

никновение или изменение специфического набора условий»; «последствие (consequence): - результат воздействия события (3.5) на объект».

Однак, слід зауважити, що відповідно до документів ISO/IEC будь-які вимірювання засобами вимірювання (ЗВ), у тому числі пов'язані з контролем навколишнього середовища або параметрів технологічних процесів, також піддаються принципу невизначеності. Тому доцільно виставляти підвищені зобов'язання до надійності і безпеки ЗВ з метою виконання жорстких вимог з оцінки ризиків кібербезпеки в умовах реалізації принципу невизначеності [10] при забезпеченні метрологічної достовірності вимірювань за допомогою будь-яких ЗВ [11].

Отже, ПсППР доступу до СОКІ зобов'язана забезпечувати розв'язання задач як щодо фізичного захисту від наслідків впливу навколишнього середовища, так і при реалізації безпеки безпосереднього процесу отримання та обробки супутньої інформації, що гіпотетично підпадає під можливі кіберінциденти.

Як відомо, добре організована з використанням сучасних технічних засобів системи контролю та управління доступом (СКУД) дозволяють вирішувати цілу низку завдань, до яких (як найважливішим) можна віднести такі [12]: «противодействие промышленному шпионажу; противодействие воровству; противодействие саботажу; противодействие умышленному повреждению материальных ценностей; учет рабочего времени; контроль своевременности прихода и ухода сотрудников; защита конфиденциальности информации; регулирование потока посетителей; контроль въезда и выезда транспорта. Кроме этого, СКУД является барьером для любопытных». Останнім часом, при реалізації конкретних СКУД, також використовують різні способи та реалізують пристрої для ідентифікації та аутентифікації особистості.

Отже, правильно побудована (адекватна реальності) модель СОКІ з його Системою захисту та безпеки, а також модель порушника, в якій відображаються його практичні та теоретичні можливості, апіорні знання, час і місце дії та інші характеристики, є важливою складовою успішного проведення аналізу ризику та визначення вимог до складу та характеристик інтегральної системи захисту. Проте, навіть в умовах багаторівневої системи перешкод жодна пізнавальна модель не може одночасно виконувати необхідно безліч завдань "захисного напрямку" [13, с.93]. Саме цьому доцільно оцінювати ефективність моделі в конкретному (обраному) аспекті її реалізації.

Причому в області СКУД не приділено достатньо серйозної уваги щодо контролю за подоланням повітряних рубежів захисту до підриву конкретної

захисної (охоронюваної) оболонки об'єкта. Тому для прикладу з виявленням несанкціонованих повітряних атак зловмисників, які використовують дрони, підходить демонстрація (задача) можливості забезпечення штатного рівня захисту ОКІ шляхом реалізації кореляційних радіолокаційних пристроїв ближньої взаємодії [14, с. 403] із супутніми пороговими блоками. При цьому завдання загальної та параметричної ідентифікації розпізнавання потенційних атак за допомогою дослідження гіпотетичної сигнальної аналогової дії слід також зводити, аналогічно [1], до кореляційного аналізу зондувальних та відбитих сигналів від дронів, які вторглись у повітряну область КВО, що охороняється.

Висновки. Таким чином, запропонована структурно-лінгвістична схема методології побудови системи захисту та безпеки об'єктів критичної інфраструктури з позицій зниження результативності ризиків. Виконано аналіз Системи оцінювання ризику безпеки сукупності ОКІ та доступу до неї. Показано, що СЛС має універсальну структуру та фактично може бути використана в будь-якій організованій сфері діяльності соціуму незалежно від виду галузі, розмірів організації, виділених матеріальних засобів та інтелектуального рівня штатного персоналу, відповідального за цю галузь безпеки та захисту. Обґрунтовано можливості реалізації, з позицій зниження результативності ризиків, функції щодо нівелювання потенційно небезпечних атак відносно СОКІ, які спрямовані як на розкрадання, спотворення цілісності та достовірності інформації, так і на можливі порушення так званих фізичних рубежів захисту інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тарасенко Ю.С. Методология построения познавательной модели безопасности критической инфраструктуры. The methodology of building the cognitive model of critical infrastructure's security/ Ю.С.Тарасенко, В.Ю. Клим // Materials of International scientific symposium: "Prospective globale wissenschaftliche Trends '2022/Prospective global scientific trends'2022", Karlsruhe, Germany, May, 2022. – 10 с.
2. ДСТУ ISO Guide 73:2013. Керування ризиком. Словник термінів (ISO Guide 73:2009, IDT). [Чинний від 2014–07–01]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 17 с.
3. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT) Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2016. 51 с.
4. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). [Чинний від 2014–07–01]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 80 с.
5. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018 Risk Management – Principles and guidelines on implementation, IDT).

[Чинний від 2019-01-01]. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>

6. ДСТУ ISO/TR 31004:2013 Управління ризиками – Керівництво з впровадження ISO 31000 (Risk management – Guidance for the implementation of ISO 31000, IDT).

[Чинний від 2019-01-01]. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/56610.html?browse=tc>

7. ДСТУ ISO/IEC 27000:2019 (ISO/IEC 27000:2018, IDT) Інформаційні технології. Методи захисту. Системи керування інформаційною безпекою. Огляд і словник термінів. Київ ДП «УкрНДНЦ». Наказ від 16.10.2019 № 312.

8. ISO/IEC 27001:2013 Информационные технологии — Методы обеспечения безопасности — Системы менеджмента информационной безопасности — Требования /Information technology — Security techniques — Information security management systems —Requirements/ Вторая редакция. 2013-10-01.

9. Закон України Про критичну інфраструктуру № 1882 - IX від 16.11.2021р. // Голос України. . – № 236 (14.12.2021).

10. ISO/IEC Guide 98- 1:2009, Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement, IDT. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. М. Стандартиформ. 2017.

11. Тарасенко Ю.С. Інформаційні системи з позицій забезпечення надійності та невизначеності вимірювань / Ю.С.Тарасенко, В.Г. Соляніков // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційні технології, моделі управління кібербезпекою – «ІТМК– 2021», Дніпро, 14 – 16 квітня 2021 р. – С.29 – 30.

12. Ворона В. А. Системы контроля и управления доступом / В.°А.Ворона, В. А.Тихонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.

13. Вострецова Е. В. Основы информационной безопасности: учебное пособие для студентов вузов / Е. В. Вострецова – Екатеринбург: изд- во Урал. ун- та, 2019. – 204 с.

14. Тарасенко Ю.С. Фізичні основи радіолокації: навч. посіб. / Ю.С.°Тарасенко – Д.: «Пороги», 2011. – 487с.

REFERENCES

1. Tarasenko Yu.S. Metodolohyia pobudovy poznavatelnoi modely bezopasnosti krytycheskoi ynfrastruktury. The methodology of building the cognitive model of critical infrastructure's security/Yu.S.Tarasenko, V.Iu. Klym//Materials of International scientific symposium: "Prospektive globale wissenschaftliche Trends '2022/Prospective global scientific trends' 2022",Karlsruhe, Germany, May,2022.10 s.

2. DSTU ISO Guide 73:2013. Keruvannia ryzykom. Slovyk terminiv (ISO Guide 73:2009, IDT). [Chynnyi vid 2014-07-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014. 17 s.

3. DSTU ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT) Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv. Kyiv DP «UkrNDNTs», 2016. 51 s.
4. DSTU IEC/ISO 31010:2013 Keruvannia ryzykom. Metody zahalnoho otsiniuvannia ryzyku (IEC/ISO 31010:2009, IDT). [Chynnyi vid 2014–07–01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minekonomrozvytku Ukrainy, 2015. 80 s.
5. DSTU ISO 31000:2018 Menedzhment ryzykiv. Pryntsypy ta nastanovy (ISO 31000:2018 Risk Management – Principles and guidelines on implementation, IDT). [Chynnyi vid 2019–01–01]. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
6. DSTU ISO/TR 31004:2013 Upravlinnia ryzykamy – Kerivnytstvo z vprovadzhennia ISO 31000 (Risk management – Guidance for the implementation of ISO 31000, IDT). [Chynnyi vid 2019–01–01]. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.iso.org/standard/56610.html?browse=tc>
7. DSTU ISO/IEC 27000:2019 (ISO/IEC 27000:2018, IDT) Informatsiini tekhnolohii. Metody zakhystu. Systemy keruvannia informatsiinoiu bezpekoiu. Ohliad i slovnyk terminiv. Kyiv DP «UkrNDNTs». Nakaz vid 16.10.2019 № 312.
8. ISO/IEC 27001:2013 Informatsyonnye tekhnolohyy – Metody obespechenia bezopasnosti – Системы менеджмента информации безопасности – Требования /Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements/ Vtoraia redaktsiia. 2013.10.01.
9. Zakon Ukrainy Pro krytychnu infrastrukturu № 1882 - IX vid 16.11.2021r. // Holos Ukrainy. № 236 (14.12.2021).
10. ISO/IEC Guide 98– 1:2009, Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement, IDT. M. Standartynform. 2017.
11. Tarasenko Yu.S. Informatsiini systemy z pozytsii zabezpechennia nadiinosti ta nevyznachenosti vymiriuvan /Yu.S.Tarasenko, V.H. Soliannikov // Zbirnyk materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Innovatsiini tekhnolohii, modeli upravlinnia kiberbezpekoiu – «ITMK– 2021», Dnipro, 2021. S.29 – 30.
12. Vorona V.A. Systemy kontrolya y upravleniya dostupom / V.A.Vorona, V.°A.Tykhonov. M.: Horiachaia lynyia – Telekom, 2010. 272 s.
13. Vostretsova E. V. Osnovy informatsyonnoi bezopasnosti: uchebnoe posobyie dlia studentov vuzov /E. V. Vostretsova. Ekaterynburh: yzd- vo Ural. un- ta, 2019. 204 s.
14. Tarasenko Yu.S. Fizychni osnovy radiolokatsii: navch. posib. / Yu.S.Tarasenko . D.: «Porohy», 2011. 487s.

Received 16.05.2022.

Accepted 18.05.2022.

***Safety of critical infrastructure objects
from the positions of risk effectiveness reduction***

In the Ukrainian standards of general risk assessment, according to analogues within ISO, safety aspects are mainly informative. Therefore, both the quality of risk assessment and the reduction of its negative consequences (risk effectiveness) depend on the proper use of methods and techniques. that is why in order to prevent unauthorized physical and information access, ie any damage and interference with loss of confidentiality, integrity, accessibility, observation, authenticity and reliability of both official information of the organization and the integrity of the production system of the organization with their facilities of obtaining, processing and storing information, it is necessary to make the correct choice of risk assessment method and further ensure the proper implementation of protection in accordance with the reduction of risk effectiveness.

The purpose of the work is to substantiate and analyze the proposed structural and linguistic scheme of the methodology of construction of the System of protection and safety of critical infrastructure objects (CIO) from the standpoint of risk effectiveness.

From the point of view of reduction of hypothetical negative consequences from risks for regular of CIO the conditions for potential risk criteria are given and the System of risk assessment of the security of the set of critical infrastructure objects (SCIO) is considered with access to it, which includes subsystems of: the Ukrainian standards of general risk assessment, declared methods of general risk assessment; assessment of security losses according to confidentiality, integrity, accessibility, observation, authenticity, reliability and stability of protection boundaries; filtering of these risks and supporting decision-making on access control to SCIO. The advisability of the increased obligations concerning reliability and safety of measuring instruments is proved in order to strict requirements for cybersecurity risk assessment in terms of realization the principle of uncertainty while ensuring the metrological reliability of measurements.

Тарасенко Юрій Станіславович — доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Університет митної справи та фінансів.

Клим Вікторія Юріївна — доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Університет митної справи та фінансів.

Tarasenko Yuri Stanislavovich — Assistant Professor of the Chair of Cybersecurity and Information Technologies, University of Customs and Finance.

Klym Viktoriia Yuriyivna — Assistant Professor of the Chair of Cybersecurity and Information Technologies, University of Customs and Finance.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

Анотація. Експериментально досліджено основні фізико-механічні властивості теплозахисного композиційного матеріалу, що використовується для виготовлення захисних екранів. Для цього на прикладі склопластику СТЕФ виконані (із застосуванням традиційних схем) дослідження при малих (менше 1 м/с) і високих (більше 3 м/с) швидкостях зміни навантажень. При малих швидкостях навантаження досліджувалася міцність матеріалу при поверхневому деформуванні, розтягуванні, згинанні та зсуві. При великих швидкостях визначалася робота руйнування і ударна в'язкість.

Результати експериментальних досліджень використані при вирішенні конкретних конструкторсько-технологічних завдань, зокрема, при розробці обладнання та виборі режимів дроблення композиційних матеріалів при їх утилізації (хоча, безумовно, отримані дані мають ширше значення).

Ключові слова: моделювання, механічні властивості, теплозахисні екрани, експерименти.

Постановка проблемы. Большинство машин металлургического производства функционируют в условиях интенсивного воздействия высоких температур. Для уменьшения влияния температур используют теплозащитные экраны из различных материалов. Например, композиционные жаропрочные материалы на полимерной основе широко используются в качестве теплозащитных экранов разнообразной формы и размеров. Одним из распространенных видов жаропрочных композиционных материалов на полимерной основе является стеклопластик марки СТЭФ, основные физико-механические и теплофизические свойства которого приведены в справочной литературе [2- 4].

Цель исследования. Актуальной задачей при использовании изделий из композиционных материалов является утилизация после истечения срока их эксплуатации. Обычно утилизация предполагает разделение конструкций на крупногабаритные плиты, дробление плит на мелкие элементы и последующее их диспергирование. Для решения такой задачи на этапе дробления предложены оригинальные технология и оборудование [1].

При реализации технологии дробления [1] потребовалось уточнить особенности проявления основных механических свойств для соответствующих данной технологии видов нагрузок и деформаций. Для этого на примере стеклопластика СТЭФ выполнены (с применением традиционных схем [4]) экспериментальные исследования основных механических свойств при малых и высоких скоростях изменения нагрузок. При малых скоростях нагружения (менее 1 м/с) исследовалась прочность материала при поверхностном деформировании, растяжении, изгибе и сдвиге. При скоростях более 3 м/с определялась работа разрушения и ударная вязкость.

Основной материал исследования Определение характера распределения твердости по различным участкам композиционного материала выполнено с помощью прибора ТК-2. Специальные образцы имеют толщину равную толщине исследуемого материала и прямоугольное сечение (50×40 мм). Образцы имеют небольшую кривизну, что позволяет называть одну из поверхностей стержня внешней, а другую – внутренней. Боковые поверхности образованы плоскостями, по которым стержни вырезаны из пластин. В качестве индентора использовался закаленный стальной шарик; показания снимались на приборе по шкале твердости «В». Результаты измерения твердости на различных участках поверхностей образцов приведены на рис. 1.

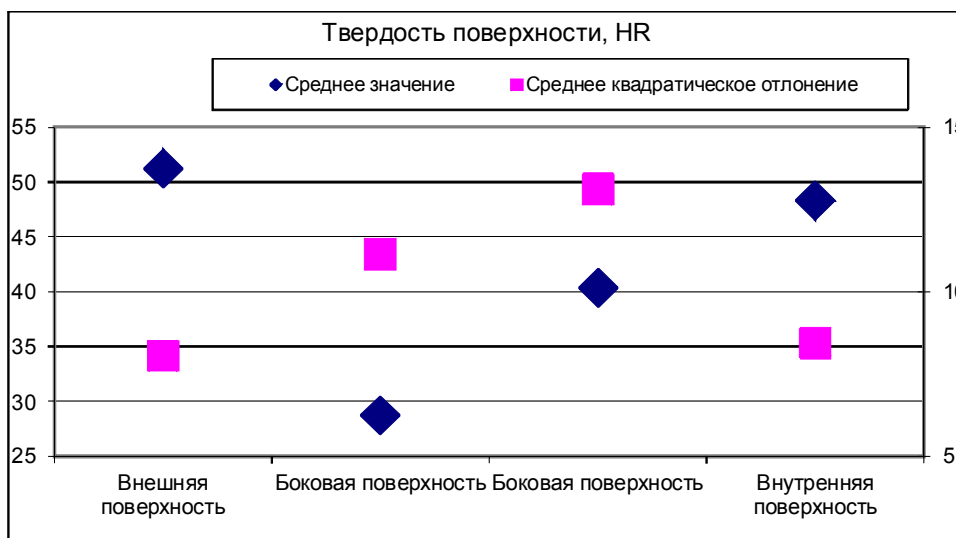


Рисунок 1 - Твердость различных участков поверхности

Композиционный материал имеет неоднородную (рис. 1) твердость на различных участках поверхности, причем наибольшую твердость имеют внешняя и внутренняя поверхности, соответственно. Твердости внешней и внутренней поверхностей различаются незначительно, а твердость боковых по-

верхностей почти в 1,5 раза меньше (при этом разброс значений, судя по величинам средних квадратических отклонений, примерно в 1,5 раза больше), что подтверждает анизотропию свойств композиционного материала.

Для исследования прочности материала при локальном деформировании (вдавливании конусов) проведены эксперименты на универсальной испытательной машине Р-5. Для испытания подготовлены образцы из композиционного материала в виде стержней с прямоугольным сечением 18×50 мм, длиной 220 мм и стальные конусы с углами 30° , 60° , 90° , 120° и 150° . Сила нагружения конуса изменялась в диапазоне (5000 – 60000) Н. Образец 4 (рис. 2) устанавливался на нижнюю подвижную траверсу 2, а конус 3 – на верхнюю траверсу 1 и предварительно поджимался к образцу вручную. Под действием сжимающего усилия Р, величина которого регистрировалась по шкале специального измерительного прибора, конус внедрялся в образец на определенную глубину H , зависящую от величины усилия. Геометрические параметры следа от внедрения конуса (отпечатка) соответствуют геометрии вдавливаемого конуса и косвенно характеризуют прочность материала.

Глубина отпечатка определялась по радиусу отпечатка и углу конуса:

$$H = \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha / 2}$$

где H - глубина отпечатка; R - радиус отпечатка; α - угол конуса.

Площадь поверхности отпечатка F определялась по формуле:

$$F = \pi R \sqrt{H^2 + R^2}.$$

Результаты экспериментов приведены в рис. 7. Коэффициенты парной корреляции (таблица 1), величины которых значимы, показывают, что наибольшее влияние на диаметр отпечатка и площадь поверхности оказывает усилие вдавливания, а глубина отпечатка в большей мере зависит от угла конуса. Наибольшая глубина достигается при величине угла конуса 30° . При больших значениях углов глубина отпечатка значительно меньше, даже при больших величинах усилия вдавливания. В частности, наибольшая глубина отпечатка для конуса с углом 60° в 1,5 раза, для конуса с углом 90° – в 2 раза; для конуса с углом 120° – в 3 раза; для конуса с углом 150° – в 10 раз меньше соответствующего значения для конуса с углом 30° .

Коэффициенты парной корреляции

Независимые переменные	Зависимые переменные		
	Диаметр отпечатка d , мм	Глубина отпечатка h , мм	Площадь отпечатка F , мм ²
α , град.	0,68538	- 0,58441	0,37578
P , Н	0,92596	0,46725	0,98162

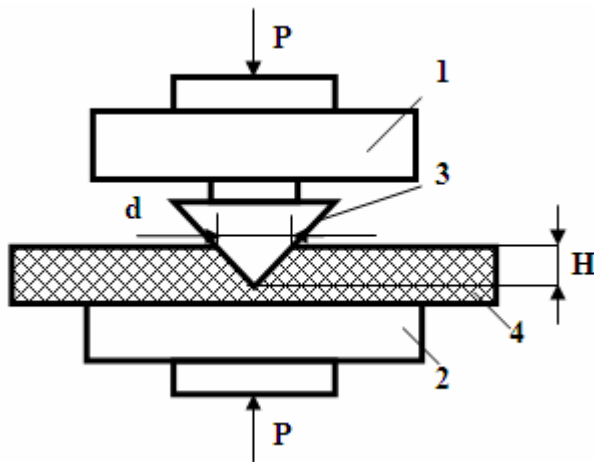


Рисунок 2 - Схема испытаний при вдавливании конусов: 1 – верхняя траверса; 2 – нижняя траверса; 3 – конус; 4 – испытываемый образец

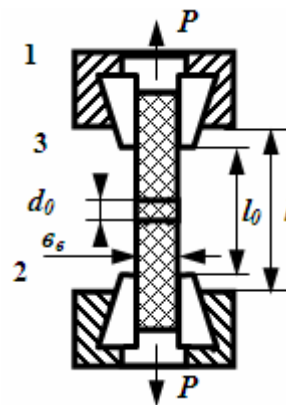


Рисунок 3 - Схема испытаний при растяжении: 1, 2 – верхний и нижний захваты; 3 – испытываемый образец

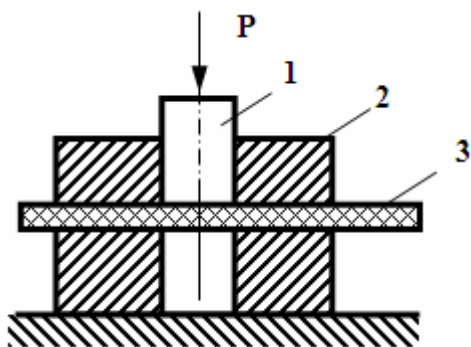


Рисунок 4 -- Схема испытаний при сдвиге (срезе): 1 – пуансон; 2 – обойма; 3 – испытываемый образец

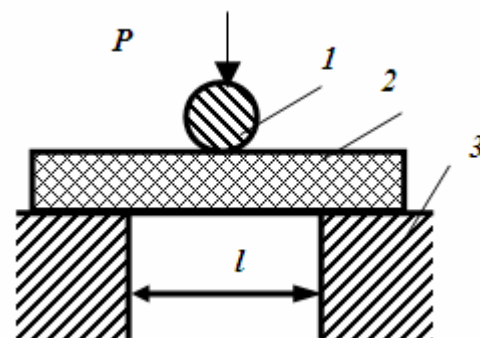


Рисунок 5 - Схема испытаний при изгибе: 1 – пуансон; 2 – испытываемый образец; 3 – плита

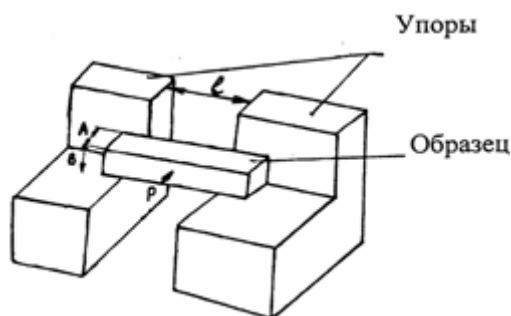


Рисунок 6 - Схема испытаний при ударном нагружении

Изучение поведения композиционного материала под действием растягивающих усилий проведены на универсальной испытательной машине Р-5 до полного разрушения образцов. Для испытания подготовлены образцы с прямоугольным сечением (рис. 3).

При увеличении прикладываемой нагрузки установлены определенные качественные особенности (таблица 2) поведения материала (установить значения напряжений не представляется возможным из-за неопределенности величин площадей сечения образцов). На основании анализа поведения композиционного материала при растяжении можно сделать вывод, что преимущественно разрыв происходит из-за разделения композита на составляющие слои и разрыв их по частям.

Таблица 2

Результаты экспериментов

№№	Величина усилия, Н	Характер изменения образцов
1	1000	расслоение материала
2	5000	удлинение образца
3	10000	разделение слоев
4	15000	утонение образца
5	20000	дальнейшее разделение слоев
6	22000	разрыв верхних слоев
7	26000	дальнейший разрыв слоев
8	30000	полный разрыв образца

Поведение материала при сдвиге исследовалось на универсальной испытательной машине Р-5 с применением специальной оснастки (рис. 4). В качестве образцов использованы пластины, вырезанные из исходного материала, с прямоугольным сечением (толщина 2-3 мм и ширина 25 мм) длиной не менее 50 мм. При испытаниях образец 3 устанавливается в обойму 2, а затем стержнем 1 с диаметром 20 мм, к которому прикладывается усилие, производится сдвиг участка материала по периметру окружности и последующий его срез.

Величина усилия вначале нарастает, достигнув максимального значения, которое регистрируется, а затем уменьшается.

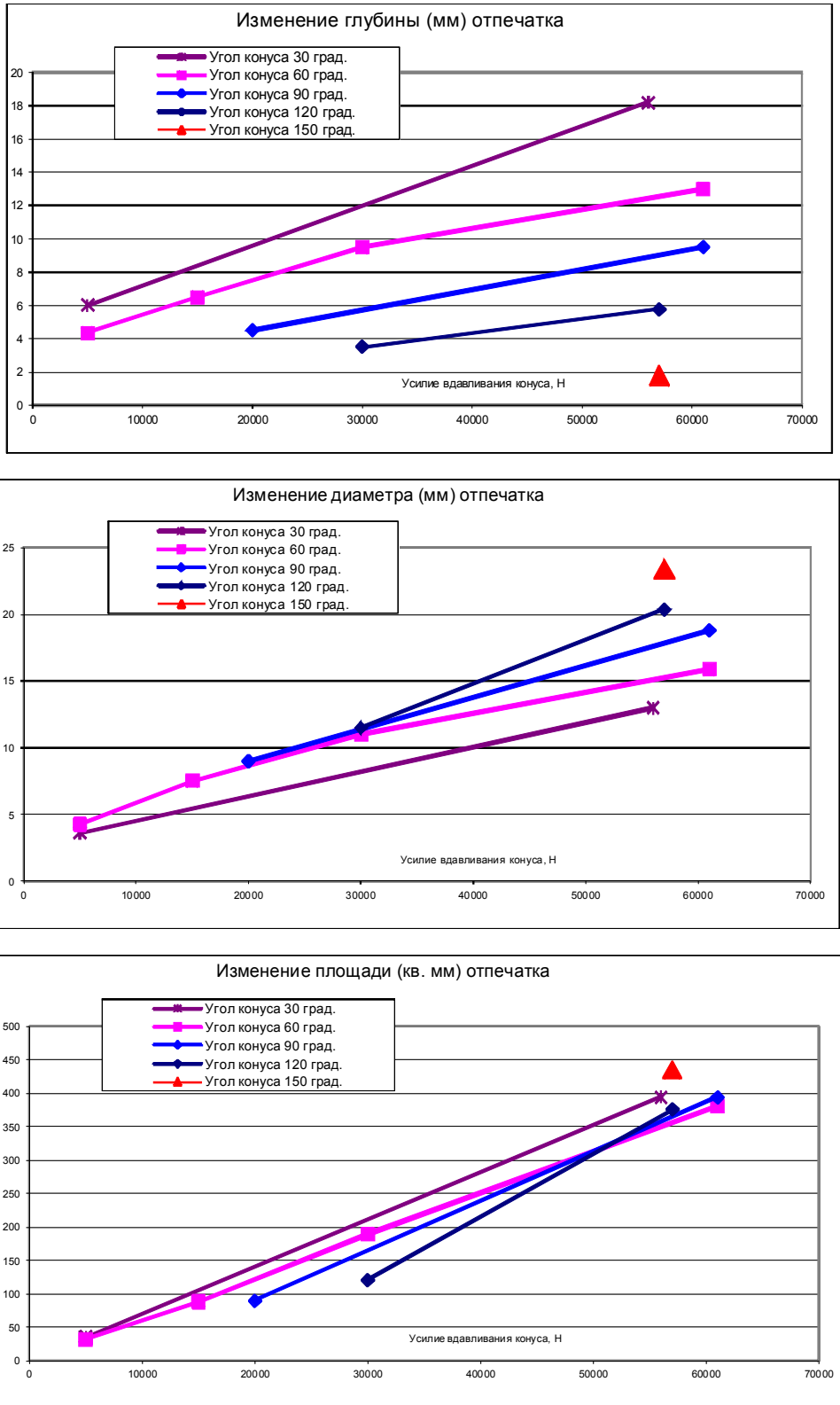


Рисунок 7 - Изменение характеристик отпечатка при вдавливании конуса

По величине усилия и геометрическим параметрам образца рассчитывается величина напряжения среза:

$$\tau = \frac{P}{\pi dh},$$

где P – усилие, при котором происходит разрушение образца; d – диаметр стержня; h – толщина образца.

Средние значения напряжений среза различаются незначительно (рис. 8). Однако возможные реализации значений (внутри полей рассеивания) подтверждают анизотропию свойств.

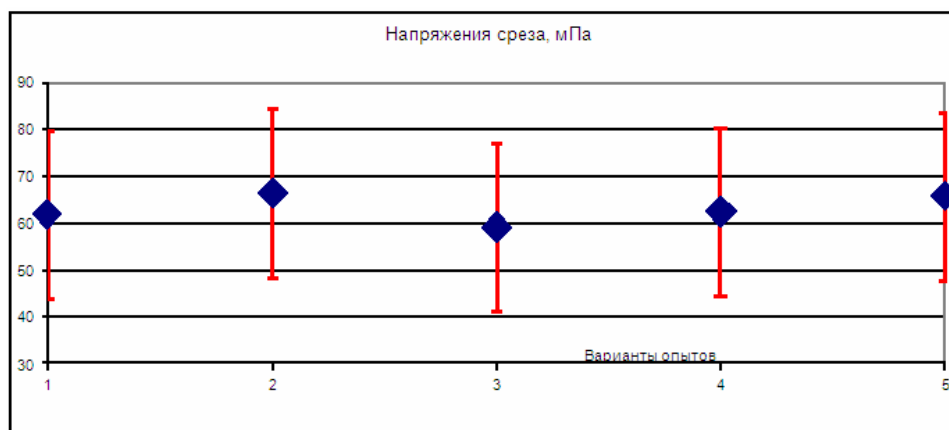


Рисунок 8 Изменение напряжений среза и поля рассеивания

Исследование поведения материала при изгибе проведены по известной схеме (рис. 5) на универсальной испытательной машине Р-5. В качестве образцов использованы стержни прямоугольного сечения длиной 90 мм. При испытаниях образец устанавливается на опоры основания, расстояние между которыми $l = 40$ мм. Усилие, прикладываемое в центре образца через цилиндр с диаметром 18 мм, возрастает до максимального значения, которое регистрируется, а затем резко падает при потере образцом несущей способности вследствие его разрушения.

Расчет величины напряжения, при котором происходит разрушение, осуществляется [2, 4] по устанавливаемой величине усилия (P), геометрическим параметрам сечения (A и B) и расстоянию между опорами (l):

$$G = \frac{M_{изг.}}{W},$$

где $M_{изг.} = \frac{P \cdot l}{2}$ – изгибающий момент; $W = \frac{B \cdot A^2}{6}$ – момент сопротивления сечения.

Результаты экспериментов (рис. 9) свидетельствуют, что прочность материала на изгиб также имеет анизотропию.

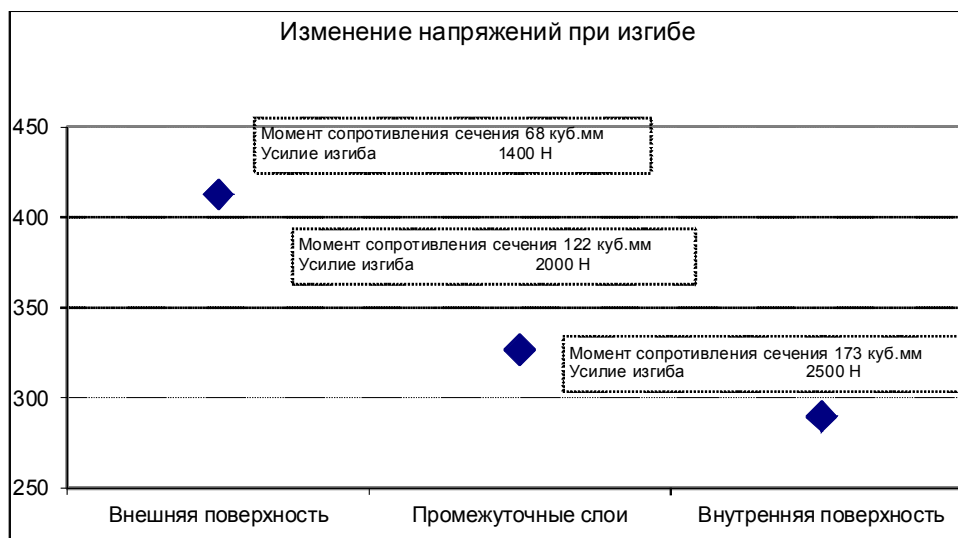


Рисунок 9 - Напряжения на различных участках материала при изгибе

Наибольшие разрушающие напряжения возникают в образцах вблизи внешней поверхности. Наименьшее сопротивление разрушения при изгибе обнаруживается для образцов, вырезанных вблизи внутренних армирующих слоев. Остальные образцы имеют почти одинаковую прочность. Величина разрушающего напряжения зависит от направления приложения нагрузки. Например, при изменении направления действия усилия, при испытании образцов, вырезанных вблизи внешней поверхности, напряжения существенно уменьшаются.

Исследование поведения композиционных материалов при высоких скоростях нагружения проведены на маятниковом копре МК-30 по традиционной схеме (рис. 6). При проведении испытаний образцы (стержни с прямоугольным сечением длиной 90 мм), установленные на основание (расстояние между опорами 40 мм) разрушались маятниковым копром.

Начальная высота расположения копра изменяется, что позволяет задавать ряд значений скоростей удара, при ударе регистрируется величина работы разрушения, а величина ударной вязкости рассчитывается:

$$\eta = \frac{A}{F},$$

где А– работа разрушения; F – площадь сечения образца.

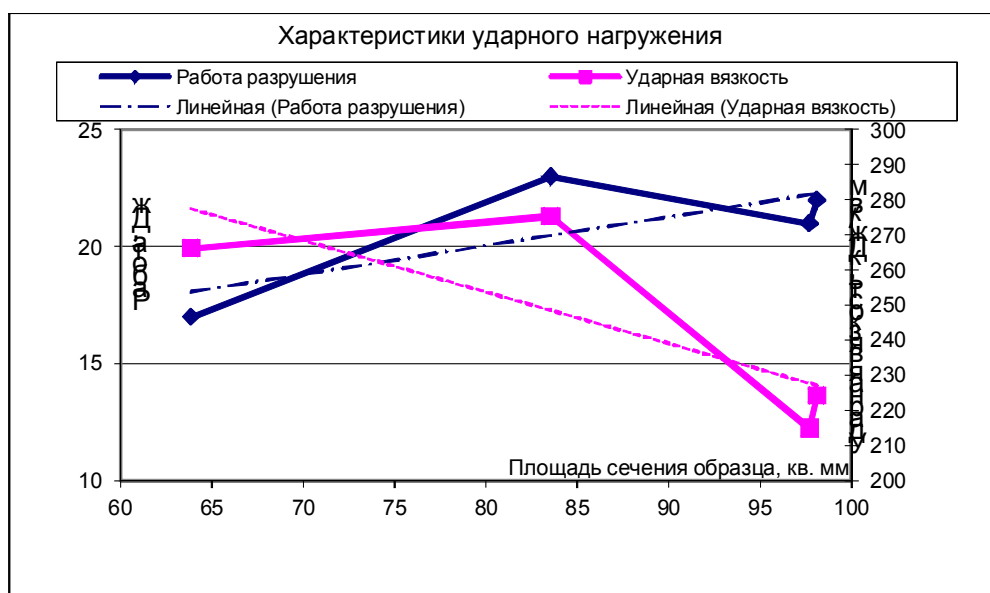
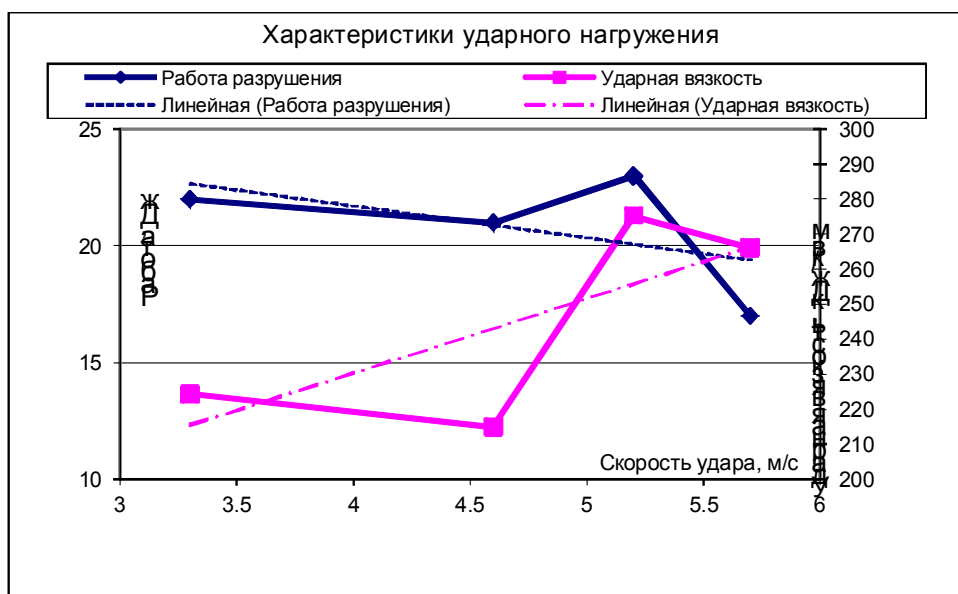


Рисунок 10 - Характеристики материала при ударе

При увеличении скорости удара (рис. 10) работа разрушения материалов уменьшается. Изменение ударной вязкости происходит более сложным образом. Следует отметить, что образцы композиционного материала при ударе преимущественно расслаиваются и деформируются.

Выводы. Для жаропрочного композиционного материала на полимерной основе (стеклопластика СТЭФ) установлено:

- при скоростях нагружения менее 1 м/с прочность материала при поверхностном деформировании (вдавливание конуса), растяжении, изгибе и сдвиге имеет существенную анизотропию (величины показателей свойств различаются в несколько раз) для различных участков образцов;

- наибольшая глубина вдавливания металлического конуса достигается (при одинаковой величине силы) для конуса с величиной угла 30° ;

- при скоростях нагружения более 3 м/с (ударный режим нагружения) работа разрушения уменьшается с увеличением скорости, при этом образцы композиционного материала при ударе преимущественно расслаиваются;

Результаты экспериментальных исследований использованы при решении конкретных [1] конструкторско-технологических задач, в частности, при разработке оборудования и выборе режимов дробления композиционных материалов при их утилизации (хотя, безусловно, полученные данные имеют более широкое значение).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. № 1556745 СССР, МКИ В 02 С 18/06, 4/02. Устройство для дробления пластин из композиционных материалов на полимерной основе / В.Н. Морозенко, А.Г. Ясев, Н.А. Молоткин, И.А. Маринченко, В.А. Бойко (СССР).- №4369007/31-33; Заявлено 20.01.88; Опубл. 15.04.90, Бюл. №14.-4с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. Л. Браутмана и Р Крока. – М.: Мир, 1970. – 672 с.
3. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. - М.: Атомиздат., 1975.- 472 с.
4. Испытание материалов / Под ред. Х. Блюменауэра. – М.: Металлургия, 1979. – 448 с.

REFERENCES

1. С. с. № 1556745 СССР, МКИ В 02 С 18/06, 4/02. Device for crushing of plastins from composition materials on polymeric basis // Morozenko V, Yasev O, etc.
2. Modern composite materials. L. J. Broutman, R. H. Krock, Eds., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967, 581 pp., 266 illus.
3. Materials science for engineers L. H Van Vlack 1975, M 431 p.
4. Werkstoffprüfung. H. Blumenauer. 1979. 448 p.

Received 17.05.2022.

Accepted 20.05.2022.

Experimental modeling mechanical qualities of heatcover screens

Basic physical and mechanical properties of heatcover composition material that is used for making of protective screens are experimentally investigated. For this purpose on the example of flowed plastic STEF executed (with the use of traditional charts) research at small (less than 1 m/s) and high (more than 3 m/s) rate-of-change of ladening. At small speeds of ladening durability of material was investigated at superficial deformation, tension, bend and change. At high speeds work of destruction and shock viscosity was determined. Organization and realization of experiments were done according to rules of planning experiments. All investigations were made with the using kinds of experimental equipment which had according certifications of control their quality and accuracy. Obtained results were treated by methods of mathematical statistics and researches of their dispersions.

The results of experimental researches drawn on at the decision of concrete design-engineering tasks, in particular, at development of equipment and choice of the modes of crushing of composition materials during their utilization (although, undoubtedly, the obtained data have more wide value). For example, data of intruding conical elements in material were used for selecting optimal angles for working elements of equipment. Correlations between power parameters of intruding process were used for selecting power parameters of equipment for crushing of composition materials.

Equipment and technology for crushing of composition materials during their utilization, which are designed on the base of these investigations, have new useful technical and technological specialties, that is why, authors obtained document of intellectual property on this object.

Ясев Олександр Георгійович – професор кафедри екології, теплотехніки та охорони праці Навчально-наукового інституту «Інститут промислових та бізнес технологій», к.т.н.

Yasev Olexandr - professor of department of ecology, heating engineering and labour protection Institute of Industrial and Business Technologies.

К.Ю. Островська, І.В. Стовпченко, Ю.О. Каліберда

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦІНКИ ІНТЕРЕЙСУ ВЕБ-САЙТІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Анотація. Проектування людино-машинного інтерфейсу є невід'ємним та важливим завданням життєвого циклу розробки програмного забезпечення. Від якості результатів проектування залежить рівень задоволеності користувачів під час використання цього продукту. На даний момент існують різні підходи до оцінки юзабіліті сайтів з погляду наповнення сторінок, їх оформлення, розташування елементів керування і т.д. Але комплексного програмного продукту, який оцінював би юзабіліті будь-якого запропонованого сайту, поки що немає. Таким чином, завдання автоматизованої оцінки юзабіліті веб-сайтів є актуальним. Метою роботи є розробка системи оцінки інтерфейсу веб-сайтів на основі нечіткої логіки. Для досягнення мети було вирішено такі завдання: 1) визначити лінгвістичні змінні для оцінки юзабіліті інтерфейсу сайтів; 2) розробити та реалізувати алгоритм парсера вихідного коду HTML-сторінок для побудови термів лінгвістичних змінних; 3) розробити анкету тестування юзабіліті інтерфейсу сайтів для експертів та провести анкетування; 4) розробити алгоритм нечіткого виведення оцінки юзабіліті інтерфейсу сайтів; 5) розробити базу даних оцінок; 6) спроектувати, реалізувати та протестувати настільну програму для оцінки юзабіліті інтерфейсу сайтів.

Ключові слова: алгоритм, html, база даних, юзабіліті інтерфейс, нечітка логіка, веб-сайт, лінгвістична змінна, парсер, інтерфейс користувача, pgadmin, lazarus.

Постановка задачі. На даний момент є два поширені сервіси аналізу відвідуваності веб-сайтів – Google Analytics та Яндекс.Метрики. Google Analytics – безкоштовний сервіс, який надається Google для створення детальної статистики відвідувачів веб-сайтів. Яндекс.Метрика – безкоштовний інтернет-сервіс компанії Яндекс, призначений для оцінки відвідуваності веб-сайтів та аналізу поведінки користувачів. Обидва сервери відстежують дію користувачів, дозволяють відслідковувати кількість сеансів, їх тривалість, переглянути статистику, а не оцінити зручність користування сайтом, його сприйняття користувачами.

Додаток, що розробляється, дозволить автоматично визначити юзабіліті інтерфейсу сайту. Додаток має складатися з парсера, реалізованого на C++, оболонки, реалізованої на Lazarus та бази даних, реалізованих на PgAdmin. Парсер вважає кількість кольорів, кількість об'єктів та кількість зображень із файлу, що містить HTML код сторінки сайту. Обчислюються значення відповідних термів у точці перетинів із графіками функцій власності. Отримані результати порівнюються з експертною базою, користувач може побачити результати визначення юзабіліті інтерфейсу сайту, що тестується.

Визначення лінгвістичних змінних. Базою нечіткого висновку є чотири лінгвістичні змінні: кількість кольорів на веб-сторінці, кількість об'єктів, кількість зображень, юзабіліті веб-сторінки загалом. Перші три змінні включають терми «мало», «нормально» та «багато», змінна юзабіліті описується термами «погане», «середнє» та «хороше».

Алгоритм парсера вихідного коду HTML-сторінок. Алгоритм заснований на підрахунку кількості кольорів, об'єктів та зображень у тексті HTML-коду за допомогою регулярних виразів. Отримані результати фільтруються, виключаються повторення.

Анкетування експертів. Для того, щоб створити навчальну вибірку нечіткому алгоритму, необхідно створити набір реальних оцінок юзабіліті деяких сайтів, зібраних із експертом. Для реалізації цього завдання було розроблено анкету для експертів. Анкетування було проведено формою, поданої у таблиці 1.

Таблиця 1

Форма анкети для експертів

Експерт	Кількість квітів	Кількість об'єктів	Кількість зображень	Юзабіліті в цілому
1				
2				
...				

Експерти оцінювали три сайти за параметрами, що відповідають лінгвістичним змінним, і давали їхню загальну оцінку юзабіліті інтерфейсу.

Алгоритм нечіткого виведення оцінки юзабіліті інтерфейсу сайтів. Були пораховані мінімуми та максимуми для значень кількості кольорів, об'єктів та зображень для наданих на оцінку експертам сайтів з кожної лінгвістичної змінної окремо. Графіки для всіх лінгвістичних змінних

представлені на рисунках 1 – 3. Кожен графік включає три лінії, що відповідають трьом терм лінгвістичної змінної.

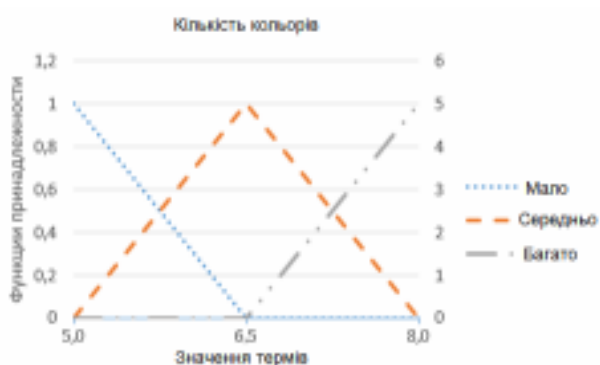


Рисунок 1 - Графік функції приналежності для лінгвістичної змінної «кількість квітів»

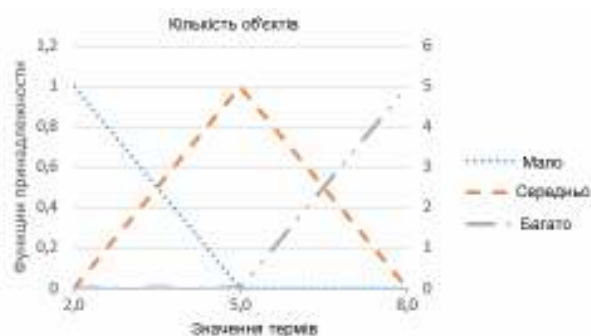


Рисунок 2 - Графік функції приналежності для лінгвістичної змінної «кількість об'єктів»

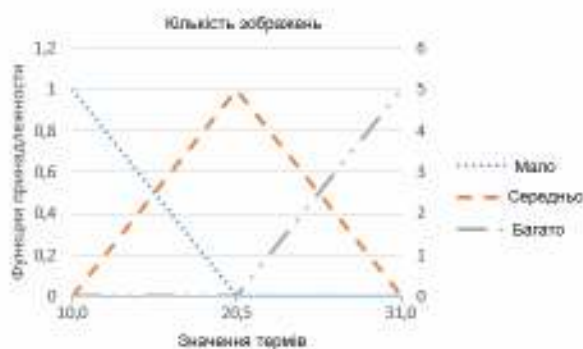


Рисунок 3 - Графік функції приналежності для лінгвістичної змінної «кількість зображень»

Наступним етапом нечіткого висновку є порівняння параметрів конкретної веб-сторінки зі значеннями термів кожної лінгвістичної змінної. Парсер виводить конкретні значення кожного параметра – кількість кольорів, кількість об'єктів, кількість зображень.

Результати парсингу сторінки порівнюються з отриманими функціями приладдя. Графічно це можна уявити як перетин даних аналізованого сайту з лініями термів на кожному графіку.

Далі за допомогою методу мінімакс отримуємо кортеж із трьох значень для кожної лінгвістичної змінної. До значень цього кортежу застосовується мінімаксний метод. Спочатку вибирається максимальне значення та вибирається найменше Найближчі значення терму. Результатом є набір із трьох чисел – кінцевих значень лінгвістичних змінних для цього сайту. Потім

ці значення порівнюються зі значеннями в експертній базі знань і проводиться оцінка юзабіліті інтерфейсу сайту. Були сформульовані чотири правила пошуку схожих патернів у основі експертних відповідей:

Правило №1. Якщо програма знаходить повністю збігається з отриманим кортежем паттерн, то виводиться значення юзабіліті з цього запису експертної основи.

Правило №2. Якщо програма не знаходить повністю збігається з отриманим кортежем паттерн, то ведеться пошук по перших двох лінгвістичних змінних, кількість кольорів та об'єктів, і відмінне не більше ніж на одиничне значення третьої змінної, кількість зображень.

Правило №3. Якщо програма не знаходить значення, що відповідає першим двом правилам, то ведеться пошук за збігається значення першої і третьої логічної змінної, кількість кольорів і зображень, і відрізняється не більше ніж на одиничне значення за другою змінною, кількість об'єктів.

Правило №4. Якщо програма не знаходить значення, що відповідає попереднім правилам, то виводиться повідомлення «Недостатньо даних для коректної оцінки».

Крім того, якщо при роботі будь-якого з перших трьох правил задовольняючих записів знаходиться кілька, то вибирається найкраще значення юзабіліті з них.

Проектування програмної системи. За допомогою мови графічного опису для об'єктного моделювання UML була побудована діаграма варіантів використання. Єдиним актором системи є юзер. На рисунку 4 представлені варіанти використання програми.

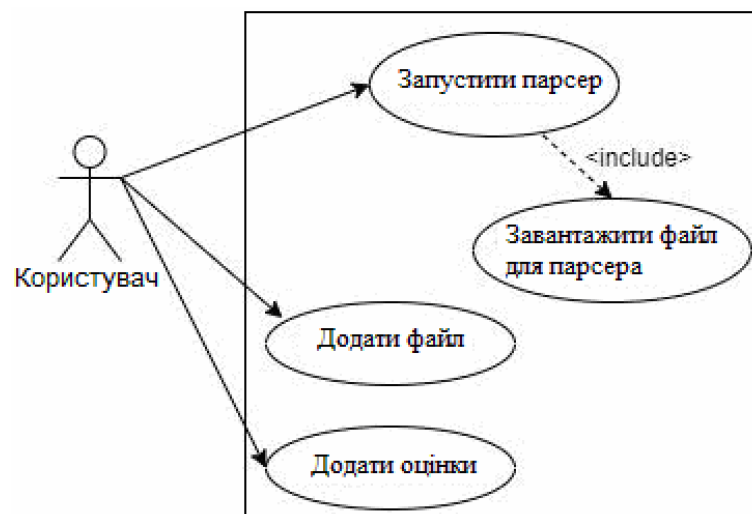


Рисунок 4 - Діаграма варіантів використання

Проектування бази даних оцінок. База даних реалізована за допомогою PgAdmin 4 і складається з двох зв'язних таблиць. Схема бази даних представлена на рисунку 5.

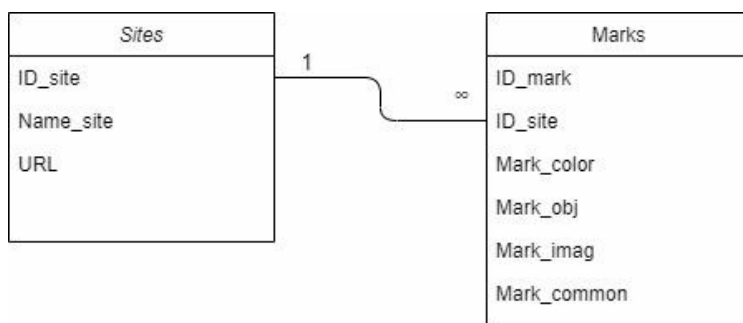


Рисунок 5 - Схема бази даних

Таблиця «Sites» складається з трьох стовпців, id сайту, його назви та URL.

Таблиця «Marks» складається з 6 стовпців, id оцінки, id оцінюваного сайту, трьох стовпців для значення оцінок кількості кольорів, об'єктів та зображень та стовпця загальної оцінки.

В обох таблицях заборонено введення порожнього поля. Зв'язок між таблицями "один до багатьох", для одного сайту може бути безліч оцінок.

Архітектура програми. Проект включає розроблений код парсера, додаток та базу даних оцінок. Діаграма компонентів представлена рисунку 6.

Додаток складається з чотирьох логічних компонентів:

- Parser здійснює пошук ключових тегів у вихідному коді, завантажений на вхід HTML-сторінці.

- Determining the values of linguistic variables – модуль, що відповідає за визначення поточних кортежів кожної лінгвістичної змінної.

- Data base of marks and sites модуль, що зберігає всі оцінки і сайти.

- Getting the final tuple of linguistic variable values вибирає з патернів найбільш підходящі відповідно до заданих правил.

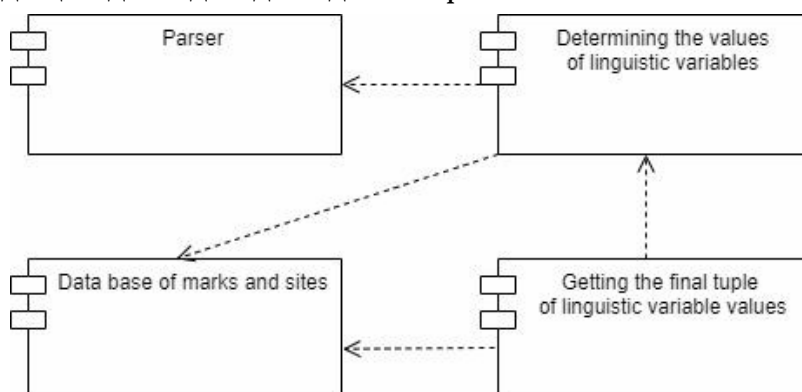


Рисунок 6 - Діаграма компонентів

Опис реалізації основної програми. Діаграма діяльності варіантів використання «Запустити парсер» представлена на рисунку 7. Діаграма показує послідовність кроків по знаходженню найбільш відповідного патерна згідно сформульованим правилам нечіткого виведення чи підтверджує його відсутність.

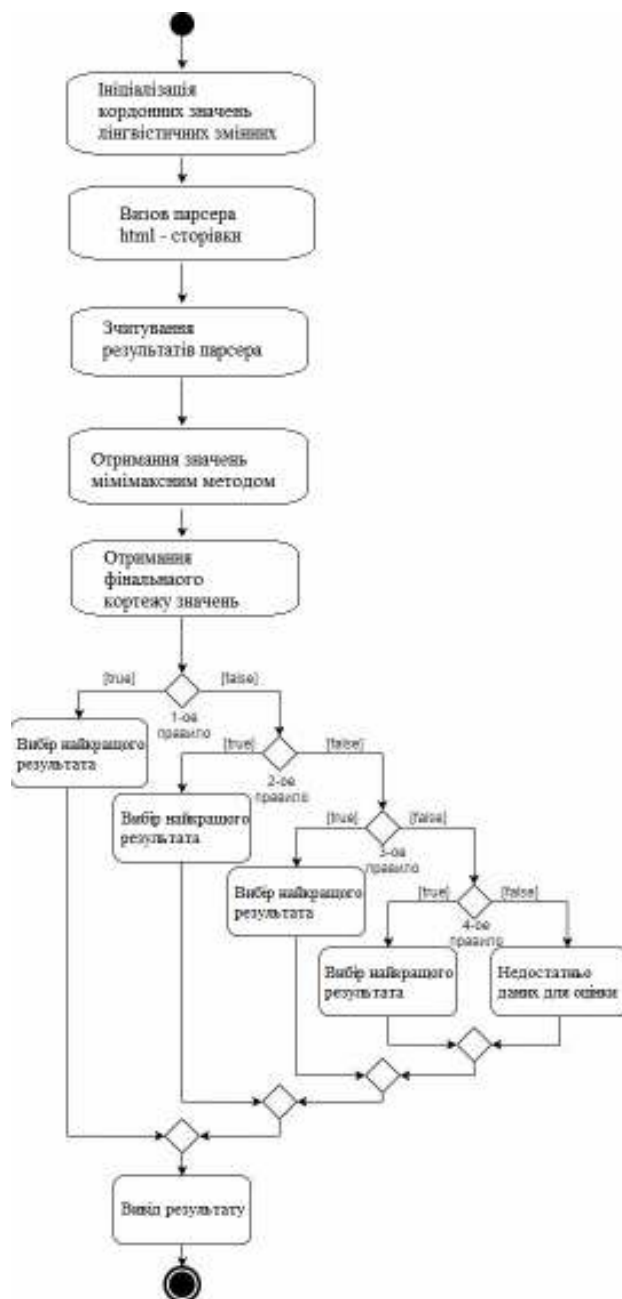
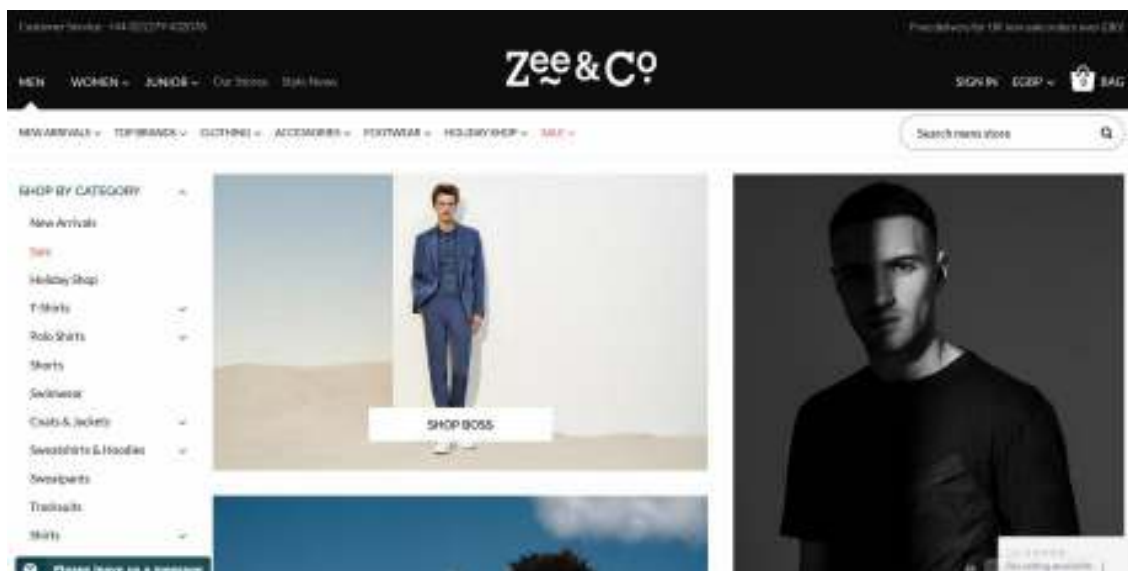


Рисунок 6 - Діаграма діяльності

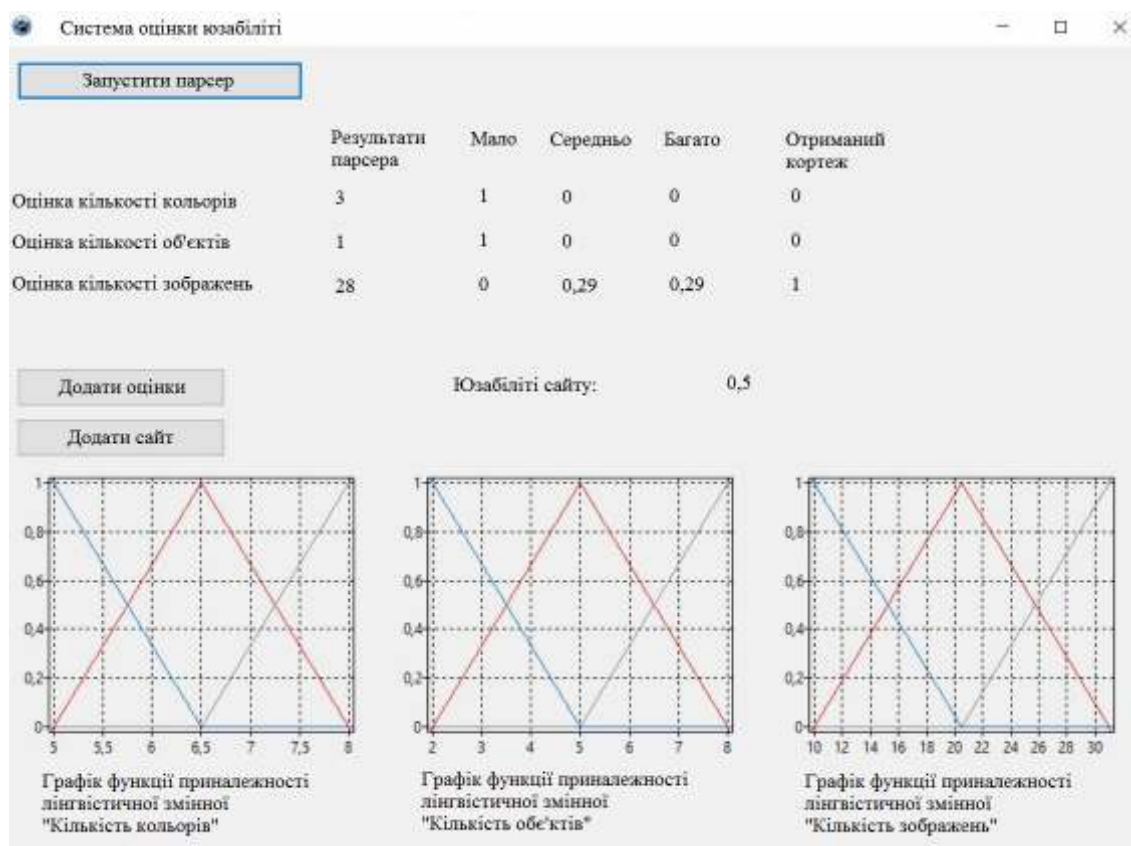
Тестування додатку. Для проведення тестування розробленого додатка було обрано функціональне тестування, оскільки саме воно дозволить перевірити роботу всіх функцій програми.

Система була протестована на трьох сайтах: Zee&Co з продажу одягу (рисунк 7), Scopus (рисунк 9) та «Сайт «Інститут промислових та бізнес технологій, УДУНТ» (рисунк 11).

Результати оцінки юзабіліті даних трьох сайтів представлені на рисунках 8, 10 та 12 відповідно.



Рисунк 7 - Сайт Zee&Co



Рисунк 8 - Результат роботи програми для сайту Zee&Co

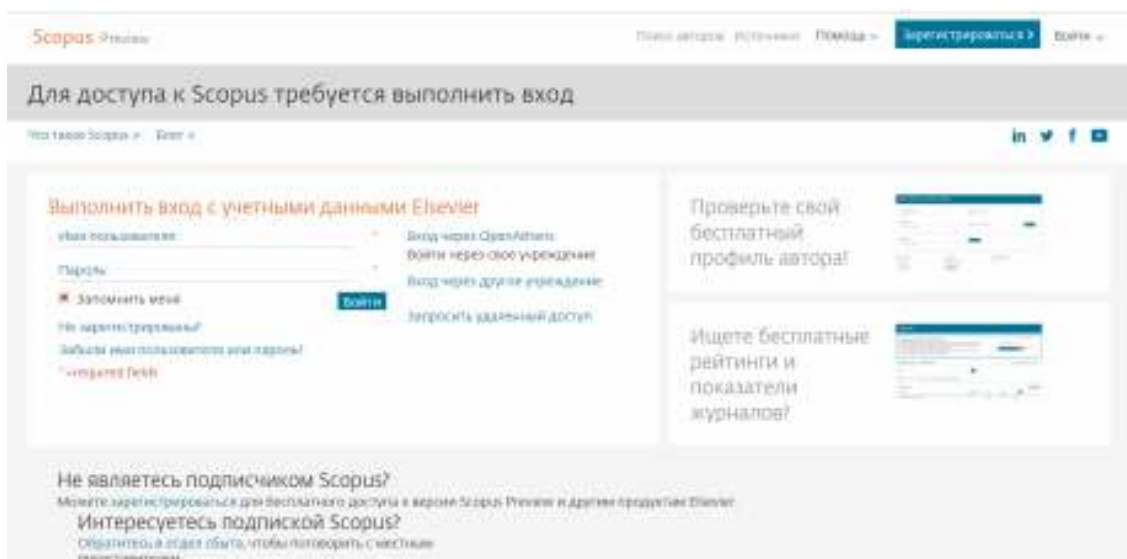


Рисунок 9 - Сайт Scopus

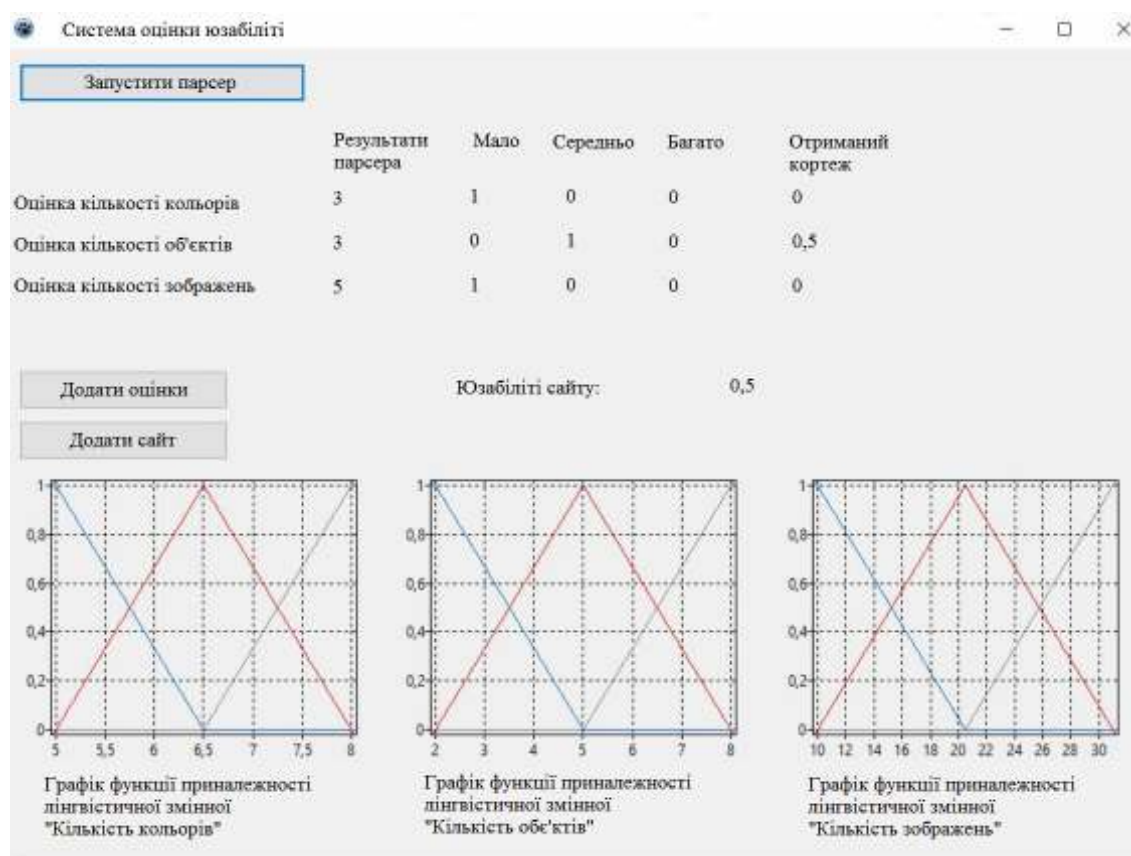


Рисунок 10 - Результат роботи програми для сайту Scopus



Рисунок 11 - Сайт «Інститут промислових та бізнес технологій, УДУНТ»

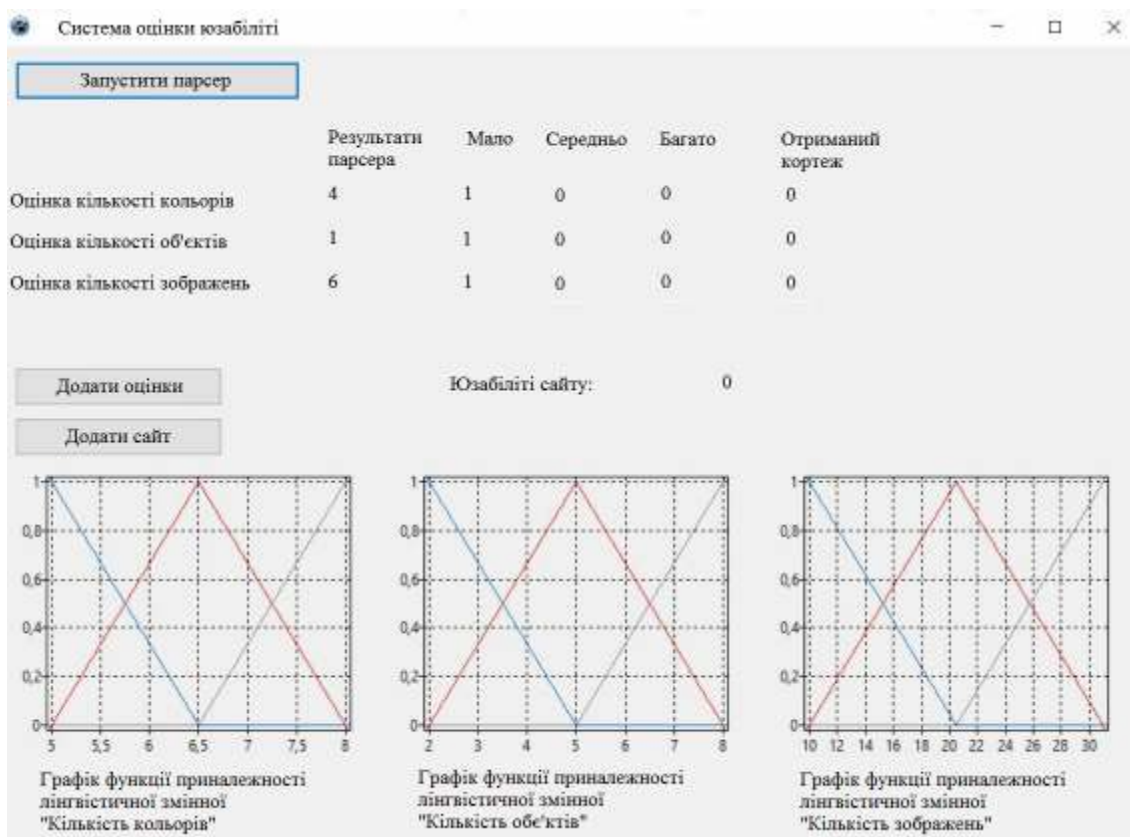


Рисунок 12 - Результат роботи програми для сайту «Інститут промислових та бізнес технологій, УДУНТ»

Юзабіліті всіх сайтів було визначено за другим правилом. Таким чином, розроблена система з аналізу юзабіліті успішно працює та виводить результати оцінки юзабіліті інтерфейсів сайтів.

Висновки. Зручність використання веб-сайту безпосередньо впливає на кількість його постійних користувачів, на продажі, якщо така функціональність передбачається на цьому сайті, на ступінь задоволення користувачів від роботи із сайтом. Підвищення юзабіліті має ґрунтуватися на формальних критеріях оцінки, які ув'язуються в єдиній системі правил нечіткої логіки.

В рамках роботи була розроблена система, що визначає юзабіліті інтерфейсу сайту на основі правил нечіткої логіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
2. Купер А., Рейман Р., Кронин Д., Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. – Пер. с англ. – СПб.: СимволПлюс, 2009. – 688 с., ил.
3. Куликов С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс, 2-е издание – Минск: Четыре четверти, 2017. - 312 с.
4. Zee&Co. [Электронный ресурс] URL: <https://www.zeeandco.co.uk/store-ilford> (дата звернення: 17.05.2022).
5. Scopus. [Электронный ресурс] URL: <https://www.scopus.com> (дата звернення: 17.05.2022).
6. Інститут промислових та бізнес технологій, УДУНТ. [Электронный ресурс] URL: <https://nmetau.edu.ua/ua> (дата звернення: 17.05.2022).

REFERENCES

1. Kofman A. Vvedeniye v teoriyu nechetkykh mnozhestv. – М.: Radyo y sviaz, 1982. – 432 s.
2. Kuper A., Reiman R., Kronyn D., Alan Kuper ob ynterfeise. Osnovi proektyrovaniya vzaymodeistyvia. – Per. s anhl. – SPb.: SymvolPlius, 2009. – 688 s., yl.
3. Kulykov S. Testyrovanye prohrammnoho obespechenyia. Bazovii kurs, 2-e yzdaneye – Mynsk: Chetire chetverty, 2017. - 312 s.
4. Zee&Co. [Web resource] URL: <https://www.zeeandco.co.uk/store-ilford> (data zvernennia: 17.05.2022).
5. Scopus. [Web resource] URL: <https://www.scopus.com> (data zvernennia: 17.05.2022).
6. Instytut promyslovykh ta biznes tekhnolohii, UDUNT. [Web resource] URL: <https://nmetau.edu.ua/ua> (data zvernennia: 17.05.2022).

Received 23.05.2022.
Accepted 25.05.2022.

***Development of the appraisal system for the website interface
based on fuzzy logic***

Designing a human-machine interface is an invisible and important task in the software security life cycle. Depending on the results of the project of the deposit, the rhubarb of the dryness of the coristuvachiv pid hour of the vikoristanny of the product. At the moment, there are different approaches to evaluating the usability of sites with an inspection of the content of the page, their design, the placement of elements of curation, etc. But a complex software product that evaluates the bi-usability of any proponated site, so far nothing. Thus, the task of automated website usability evaluation is relevant. The method of robots is the development of system interfaces for websites based on fuzzy logic. For reachability, the following tasks were decided: 1) to make linguistic changes to assess the usability of the site interface; 2) to develop and implement the algorithm of the parser of the conditional code of the HTML page for constructing the terms of linguistic snakes; 3) compiling a questionnaire for checking usability on the site for experts and providing a questionnaire; 4) development of an algorithm for fuzzy derivation of assessments of the usability of the site interface; 5) development of a database of estimates; 6) to develop, implement and test at a strict level programs for evaluating usability in the interface of sites.

The starting speed of a website without mediation is entered by the number of its guard assistants, for sale, as such, the functioning is transferred to this site, to the satisfaction level of assistants from robots from the site. The movement of usability can be carried out according to formal evaluation criteria, as linked to certain system rules of fuzzy logic.

As part of the robot, a system was developed that determines usability in the site interface based on fuzzy logic rules.

Островська Катерина Юріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій і систем УДУНТ.

Стовпченко Іван Володимирович- старший викладач кафедри Інформаційних технологій і систем УДУНТ.

Каліберда Юрій Олегович- старший викладач кафедри Інформаційних технологій і систем УДУНТ.

Ostrovskia Katerina Yuriivna - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Systems of USUST.

Stovpchenko Ivan - senior lecturer of the Department of Information Technologies and Systems of USUST.

Kaliberda Yury - senior lecturer of the Department of Information Technologies and Systems of USUST.

ЗМІСТ

CONTENTS

Еременко В.С., Осінцева М.Б. Невизначеність результату спектрального аналізу	3	Eremenko V.S., Osintseva M.B. Uncertainty of the spectral analysis result	3
Фурса О.О, Тітова О.В., Лосіхін Д.А., Вільшанський Д.О., Перекрестний Ю.С. Розробка дозуючого пристрою для тонерів та алгоритм його керування	14	Fursa O., Titova E., Losikhin D., Vilshanskyi D., Perekrestnyi Y. Development of a dispenser toner dosing and its control algorithm	14
Кімстач Т.В., Узлов К.І., Реп'ях С.І., Солоненко Л.І., Осіпенко І.О. Функціональні залежності між показниками механічних властивостей та хімічним складом олов'яно-алюмінієвої бронзи	27	Kimstach T.V., Uzlov K.I., Repyakh S.I., Solonenko L.I., Osipenko I.O. Functional dependences between indicators of mechanical properties and tin-aluminum bronze chemical composition "	27
Димченко А.В, Клименко С.В., Кулик О.В. Комбінована система автономного управління та орієнтації переміщення об'єкту у просторі	42	Dymchenko A., Klymenko S., Kulyk O. Combined system of autonomous control and orientation of move- ment of the object in 3d space	42
Кавац О. О., Храмов Д. О., Сергєєва К. Л., Васильєв В.В. Аналіз методик оцінки запасів вуглецю у лісах	56	Kavats O. A., Khramov D. A., Sergieieva K. L., Vasyliiev V.V. Analysis of methodologies for car- bon stock estimation in forests	56
Ахметшина Л.Г., Єгоров А.О. Нечіткість типу-2 у завданні підвищення достовірності сегментації зображень	74	Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. Fuzzy type-2 in the task of increas- ing the reliability of image seg- mentation	74

Дзензерський В.О., Плаксін С.В., Погоріла Л.М. Високошвидкісний наземний транспорт на основі магнітної левітації з електроживленням від розподіленої фото-електричної енергосистеми з перспективними енергонакопичувачами	85	Dzenzersky V.O., Plaksin S.V., Pogorila L.M. High-speed magnetolevitative land transport with power supply from distributed photoelectric energy system with promising energy storage	85
Ростока М.Л. Адаптивний інструментарій формування бази знань інформаційно-аналітичної системи підготовки наукових кадрів	99	Rostoka M. Adaptive tools for formation of the knowledge base of information and analytical system of training scientific staff	99
Маліч М.Г., Кресс Д.В., Різо З.М. До питання визначення кількості енергії, необхідної для дезінтеграції гірських порід до певного розміру	115	Malich M., Kress D., Rizo Z. On the question of determining the quantity of energy necessary for the disintegration of rocks to a certain size	115
Згуровський Я.Ю., Сулема Є.С., Саяпіна І.О. Проектування архітектури для зберігання часової зв'язної моделі цифрового двійника	131	Zgurovskiy Y.Yu., Sulema E.S., Sayapina I.O. Designing an architecture for storing a temporally coherent model of a digital twin	131
Поліський Ю.Д. Алгоритми прямого перетворення позиційного числа до системи залишкових класів та його зворотного перетворення	143	Polissky Y. Algorithms of direct transformation of a position number to the system of residual classes and its inverse transformation	143
Прядко Н.С., Музыка Л.В., Прядко О.В. База даних для чисельного моделювання потоків газу в газоструминній подрібнювальній установці	151	Pryadko N., Muzyka L., Pryadko O. Database for numerical simulation of gas flows in a gas jet grinder	151

Тарасенко Ю.С., Клим В.Ю. Безпека об'єктів критичної інфраструктури з позицій зниження результативності ризиків	158	Tarasenko Yu.S., Klym V.Yu. Safety of critical infrastructure ob- jects from the positions of risk ef- fectiveness reduction	158
Ясев О.Г. Експериментальне моделювання механічних властивостей теплозахисних екранів	169	Yasev O.G. Experimental modeling mechanical qualities of heatcover screens	169
Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Каліберда Ю.О. Розробка системи оцінки інтерейсу веб-сайтів на основі нечіткої логіки	180	Ostrovska K.Yu., Stovpchenko I.V., Kaliberda Yu.O. Development of a web site inter- face assessment system based on fuzzy logic	180

РЕФЕРАТИ

УДК 681.518.2 (075.8)

Єременко В.С., Осінцева М.Б. **Невизначеність результату спектрального аналізу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). - Дніпро, 2022. - С.3 – 13.

Проведено оцінювання складових невизначеності результату, що виникають при аналізі спектрів вільних коливань: невизначеність від розтікання спектру, невизначеність по амплітуді і частоті аналізованих спектрів. Проаналізовано зміни складових невизначеності результату при застосуванні гаусівського вікна під час аналізу спектрів вільних коливань. Визначено умови зменшення впливу складових невизначеності по амплітуді і по частоті дискретизації на результат спектрального аналізу.

Бібл. 10, іл. 4.

УДК 004.387: 621.3.087.92

Фурса О.О, Тітова О.В., Лосіхін Д.А., Вільшанський Д.О., Перекрестний Ю.С. **Розробка дозуючого пристрою для тонерів та алгоритм його керування** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). - Дніпро, 2022. - С.14 – 26.

Розглядається проблема дозування сипких тонерів, що є важкоплиними продуктами, та використовуються при печаті в лазерних принтерах. У роботі проаналізовано та створено працюючий дозатор шнекового типу, на мікропроцесорному контролері АТmega328Р. Важко забезпечити точність дозування плинної продукції, яка при незначна до стискання та злипається. Загальними технологічними параметрами, які повинні контролюватись при роботі дозатора, є вага, температура та вологість повітря. Створений дозатор дозволяє адекватно описувати процеси керованого руху дозування та дозволяє досліджувати процес дозування безперервним способом.

Зроблено опис його алгоритму роботи та розроблено структуру системи автоматичного управління, при забезпечені номінального завантаження.

Бібл.21, іл.3.

УДК 691.73:519.254

Кімстач Т.В., Узлов К.І., Реп'ях С.І., Солоненко Л.І., Осіпенко І.О. **Функціональні залежності між показниками механічних властивостей та хімічним складом олов'яно-алюмінієвої бронзи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). - Дніпро, 2022. - С.27 – 41.

За результатами досліджень сплавів системи Cu-Sn-Al у роботі встановлено функціональні залежності між показниками механічних властивостей і вмістом Sn та Al від 1 до 6% за масою кожного. Це дає можливість прогнозувати рівень механічних властивостей за хімічним складом такої бронзи при литті.

Бібл. 14, іл. 1, табл. 5.

УДК 678.5.05:004.925.8

Димченко А.В., Клименко С.В., Кулик О.В. **Комбінована система автономного управління та орієнтації переміщення об'єкту у просторі** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). - Дніпро, 2022. - С.42 – 55.

У статті проведено аналіз розробок проєкту «Студентська ракета «Rocketry Agency» та визначені основні науково-дослідні напрями розвитку цього проєкту. Перспективи розвитку науково-дослідницького студентського проєкту є задача розробки суборбітальних ракет з висотою польоту 80, 100 та більше км. Польоти на такі висоти неможливі без застосування систем управління та контролю, тому стає актуальним та пріоритетним питання розробки системи контролю та управління польотом саме для суборбітальних ракет з урахуванням калібру ракетноносія Д-150 та Д-300. Проведено аналіз сучасних систем управління та контролю, визначені переваги та недоліки цих систем. Розроблена нова комбінована система автономного управління та орієнтації переміщення об'єкту у просторі, яка побудована за принципом можливостей телевізійної, інерційної та механічної систем щодо визначення та утримання основної вертикалі траєкторії польоту суборбітальної ракети з заданим калібром ракетноносія Д-150 та Д-300.

Бібл. 20.

УДК 528.88:630*162.5

Кавац О. О., Храмов Д. О., Сергєєва К. Л., Васильєв В.В. **Аналіз методик оцінки запасів вуглецю у лісах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). - Дніпро, 2022. - С.56 – 73.

Розглянуто сучасні підходи до оцінки запасів вуглецю у лісових екосистемах. Існує чотири базові підходи проведення регіональної оцінки запасів вуглецю в лісах: картографічний; конверсійний; дистанційний; модельний. Найбільш перспективним для практичного використання на великих територіях є дистанційний підхід, що поєднує наземні та супутникові вимірювання. На відміну від картографічного підходу, супутникові дані використовуються для класифікації лісів та регресії запасів вуглецю у кожному пікселі досліджуваної області. Дистанційний підхід менш трудомісткий, ніж конверсійний, оскільки потребує менших обсягів наземних даних. Важливою особливістю дистанційного підходу є можливість створювати за його допомогою тимчасові ряди карт AGB.

Описано набори даних, що містять оцінки біомаси та запасів вуглецю, які можна використовувати для навчання/валідації у машинному навчанні. Розглянуто та проаналізовано приклади застосування дистанційного підходу до оцінки біомаси лісу, визначено перспективні предиктори. Аналіз прикладів показав важливість попереднього розбиття (у разі великої площі) області дослідження на відповідні зони.

Для оцінки запасів вуглецю лісів України найбільш перспективним є дистанційний підхід, що поєднує наземні та супутникові вимірювання для класифікації лісів та статистичного моделювання запасів вуглецю. Для навчання та валідації алгоритмів машинного навчання

пропонується використовувати GEDI Biomass Map, що покриває більшу частину території України — від південних границь до широти Чернігова на півночі. Прототип продукту для оцінки біомаси лісів України може спиратися на загальнодоступні дані MODIS NBAR, ЦМР SRTM, кліматичні дані ECMWF та використовувати метод машинного навчання Random Forest.

Бібл. 22, іл. 4.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Єгоров А.О. **Нечіткість типу-2 у завданні підвищення достовірності сегментації зображень** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.74 – 84.

В роботі представлені можливості підвищення достовірності сегментації зображень та чіткості виявлення меж об'єктів інтересу за рахунок використання на етапі фазифікації функцій приналежності типу-2. Представлений алгоритм дозволяє автоматизувати розрахунок параметрів перетворення з урахуванням яскравих характеристик вихідних даних. Наведено експериментальні результати на прикладі реального зображення електронного мікроскопа зразка сплаву заліза.

Бібл. 9, іл. 5.

УДК 629.4.053:621.383.51

Дзензерський В.О., Плаксін С.В., Погоріла Л.М. **Високошвидкісний наземний транспорт на основі магнітної левітації з електроживленням від розподіленої фотоелектричної енергосистеми з перспективними енергонакопичувачами** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.85 – 98.

Розроблено вдосконалену систему управління магнітолевітаційним транспортом, що діє в режимі реального часу, має прецизійну швидкодіючу навігаційну систему та систему всепогодного гарантованого електроживлення на основі сонячної енергії.

Бібл. 10, іл. 11.

УДК 004.42:378.2

Ростока М.Л. **Адаптивний інструментарій формування бази знань інформаційно-аналитической системи підготовки наукових кадрів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.99 – 114.

Автором акцентовано увагу на актуальності збереження цілості науково-освітнього процесу підготовки кадрів вищої кваліфікації в установах вищої освіти та наукових інституціях. Зазначено, що наслідки впливу форс-мажорних обставин, зокрема карантину по пандемії COVID-19 та діючого воєнного положення в Україні, втягають за собою певні корективи в організацію підготовки наукових кадрів. В зв'язі з цим піднімається проблема розробки принципово нової методології побудови інформаційно-аналитической системи, яка буде включати спеці-

фическую базу знаний в соответствии с пользовательскими запросами исследователей – субъектов научной подготовки. Целью статьи обусловлено представление результатов докторского исследования по проблематике развития информационных технологий и систем (адаптивный трансфер технологий, способствующий накоплению аналитической информации и ее оцифровке) в контексте разработки методологии построения информационно-аналитической системы подготовки научных кадров. Перспективою исследования очерчено рациональное создание, использование и поддержка функционирования интеллектуальных информационно-аналитических систем на основе специфических баз знаний посредством семантических технологий и онтологического моделирования в условиях цифровизации.

Бібл. 29, табл. 2.

УДК 621.878

Маліч М.Г., Кресс Д.В., Різо З.М. **До питання визначення кількості енергії, необхідної для дезінтеграції гірських порід до певного розміру** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.115 – 130.

Проведено аналіз існуючих класичних теорій визначення кількості енергії, необхідної для дезінтеграції твердих тіл. Кожна з них реалізує тільки невелику частку спектру умов дроблення та подрібнення гірських порід. В той же час вони практично не враховують контактне тертя між інструментом та породою. Авторами запропоновано використовувати нову теорію локального руйнування гірської породи при симетричному і асиметричному розподілу контактних дотичних напружень, яка теоретично забезпечує зниження питомої енергії руйнування в 40 - 45 разів, що дозволяє шукати нові шляхи керування процесом дезінтеграції при найменших витратах енергії.

Бібл. 4.

УДК 004.622

Згуровський Я.Ю., Сулема Є.С., Саяпіна І.О. **Проектування архітектури для зберігання часової зв'язної моделі цифрового двійника** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.131 – 142.

На основі концепцій бази даних TimescaleDB спроектовано тривірневу архітектуру для зберігання та агрегації мультимодальних даних цифрового двійника. За рахунок використання та адаптації концепції розподілених гіпертаблиць TimescaleDB пропонується ефективно зберігання та відтворення часової зв'язної моделі.

Бібл. 10, іл. 4.

УДК 681.04

Поліський Ю.Д. **Алгоритми прямого перетворення позиційного числа до системи залишкових класів та його зворотного перетворення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.143 – 150.

Результати дослідження вказують на можливість отримання більш ефективного рішення, що спрощує практичну реалізацію операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення до системи числення залишкових класів та зворотного перетво-

рення чисел. Метою дослідження є аналіз реалізації операцій прямого перетворення чисел із позиційної системи числення в систему числення залишкових класів та зворотного перетворення чисел.

Бібл. 4.

УДК 622.776

Прядко Н.С., Музика Л.В., Прядко О.В. **База даних для чисельного моделювання потоків газу в газоструминній подрібнювальній установці** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.151 – 157.

Проаналізовано процес струминного подрібнення матеріалу з точки зору зміни гранулометричного складу матеріалу в основних елементах подрібнювальної установки. Створено базу даних залежностей, що зв'язують технологічні параметри процесу та характеристики акустичних сигналів робочих зон млина. Перевагою підходу до побудови математичних моделей та створення системи автоматичного керування на основі розробленої бази даних є можливість точного опису більшості факторів, що впливають на ефективність подрібнення, можливість опису з необхідними деталями для подрібнення конкретного матеріалу та отримання готового матеріалу необхідного розміру. Використання зв'язків між акустичними сигналами та технологічними параметрами дає можливість враховувати закономірності зміни гранулометричного складу матеріалу при проходженні потоку в каналах подрібнювальної установки та реагувати на зміну якості продукції або режиму подрібнення on-line, не витрачаючи час на транспортні затримки.

Бібл. 5.

Удк 004.056.5

Тарасенко Ю.С., Клим В.Ю. **Безпека об'єктів критичної інфраструктури з позицій зниження результативності ризиків** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.158 – 168.

Запропонована структурно-лінгвістична схема методології побудови системи захисту та безпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) з позицій зниження результативності ризиків. Виконано аналіз Системи оцінювання ризику безпеки сукупності ОКІ та доступу до неї. Вона фактично має універсальну структуру та може бути використана в будь-якій організованій сфері діяльності соціуму незалежно від виду галузі, розмірів організації, рівня професіоналізму штатного персоналу, відповідального за безпеку. Обґрунтована доцільність підвищених зобов'язань щодо метрологічної надійності засобів вимірювання з метою виконання жорстких вимог з оцінки ризиків кібербезпеки в умовах реалізації принципу невизначеності при забезпеченні достовірності вимірювань.

Бібл. 14, іл. 1, табл. 3.

УДК 620.1 (0.83)

Ясев О.Г. **Експериментальне моделювання механічних властивостей теплозахисних екранів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.169 – 179.

Експериментально досліджені основні фізико-механічні властивості теплозахисного композиційного матеріалу, якій використовується для виготовлення захисних екранів. Для цього на прикладі склопластику СТЕФ виконані (з застосуванням традиційних схем) дослідження при малих (менше 1 м/с) та високих (більше 3 м/с) швидкостях зміни навантажень. При малих швидкостях навантаження досліджувалась міцність матеріалу при поверхневому деформуванні, розтяганні, вигину та здвигу. При великих швидкостях визначалась робота руйнування та ударна в'язкість.

Результати експериментальних досліджень використанні під час вирішення конкретних конструкторсько-технологічних задач, зокрема, при розробці обладнання та виборі режимів дроблення композиційних матеріалів під час їх утилізації (хоча, безумовно, отримані дані мають більш широке значення).

Бібл. 4, іл. 10, табл. 2.

УДК 004.054:681.3.068

Островська К.Ю., Стопченко І.В., Каліберда Ю.О. **Розробка системи оцінки інтерфейсу веб-сайтів на основі нечіткої логіки** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 4(141). – Дніпро, 2022. – С.180 – 190.

Завдання автоматизованої оцінки юзабіліті веб-сайтів є актуальним. Метою роботи є розробка системи оцінки інтерфейсу веб-сайтів на основі нечіткої логіки. В рамках роботи була розроблена система, що визначає юзабіліті інтерфейсу сайту на основі правил нечіткої логіки.

Бібл. 6.

UDC 681.518.2 (075.8)

Eremenko V.S., Osintseva M.B. **Uncertainty of the spectral analysis result** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.3 – 13.

It is evaluated the components of the uncertainty of the result that arise in the analysis of the spectra of free oscillations: uncertainty of the spectrum leakage, uncertainty of the amplitude and frequency of the analyzed spectra. Changes in the uncertainty components of the result after applying a Gaussian window during the analysis of free oscillation spectra are analyzed. The conditions for reducing the influence of the uncertainty components of the amplitude and sampling frequency on the result of spectral analysis are determined.

Ref. 10, fig. 4.

UDC 004.387: 621.3.087.92

Fursa O., Titova E., Losikhin D., Vilshanskyi D., Perekrestnyi Y. **Development of a dispenser toner dosing and its control algorithm** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.14 – 26.

The object of the study is a toner dispenser. There are problems with dosing. The common dosing equipment is dispensers.

In the work, thanks to an integrated approach to data analysis, we solved the problem of automating the dosing process. And analyzed the ways of uniform loading.

Created a working screw-type dispenser. It is used for dosing viscous products. The dosing accuracy of fluid products is low, with low compression, the toner sticks together. The created dispenser makes it possible to adequately describe the processes of controlled movement and to study the process continuously.

There is a description of the algorithm and structure of the automatic control system, at nominal load.

The dispenser was built on the microprocessor controller ATmega328P.

Ref.21, dr.3.

UDK 691.73:519.254

Kimstach T.V., Uzlov K.I., Repyakh S.I., Solonenko L.I., Osipenko I.O. **Functional dependences between indicators of mechanical properties and tin-aluminum bronze chemical composition** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.27 – 41.

According to Cu-Sn-Al alloys examination results, functional dependences between mechanical properties and Sn and Al content from 1 to 6% by weight of each have been established. This makes it possible to predict mechanical properties level according to chemical composition of such bronze during casting.

Ref.14, fig. 1, table 5.

UDK 678.5.05:004.925.8

Dymchenko A., Klymenko S., Kulyk O. **Combined system of autonomous control and orientation of movement of the object in 3d space** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.42 – 55.

The paper presents an analysis of the developments of the "Rocketry Agency Student Rocket" project and identifies the main research directions for the development of this project. Prospects for the development of a research student project are the task of developing suborbital rockets with a flight altitude of 80, 100 or more kilometers. Flights to such altitudes are impossible without the use of monitoring and control systems, so an essential and high-priority task is development of a flight monitoring and control system for suborbital rockets with taking into account the caliber of the D-150 and D-300 launch vehicles. The analysis of modern monitoring and control systems has been carried out, the advantages and disadvantages of these systems have been determined. The most attractive for use for suborbital rockets with the given caliber are autonomous guidance and television guidance systems. It is determined that the use of such control systems is impossible, both in terms of the dimensions of the design itself, and the price category of the system as a whole. A new combined system of autonomous control and orientation of movement of volume in space, which is built on a combination of capabilities of television, inertial and mechanical systems, has been developed. regarding the determination and maintenance of the main vertical of the flight path of a suborbital rocket with a given caliber of the D-150 and D-300 launch vehicles.

Ref. 20.

UDK 528.88:630*162.5

Kavats O. A., Khramov D. A., Sergieieva K. L., Vasyliiev V.V. **Analysis of methodologies for carbon stock estimation in forests** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.56 – 73.

Current approaches to carbon stock estimation in forest ecosystems are considered. Datasets containing biomass and carbon stock estimates that can be used for training/validation in machine learning are described. Examples of applying the remote approach to assessing forest biomass over large areas are analyzed.

To estimate the forest carbon stocks in Ukraine, the most promising is the remote approach, which combines ground-based and satellite measurements for forest classification and statistical modeling of carbon stocks. For training and validation of machine learning algorithms, it is proposed to use the GEDI Biomass Map, which covers most of the territory of Ukraine — from the southern borders to the latitude of Chernihiv in the north. A prototype of forest biomass estimating product in Ukraine can be based on publicly available MODIS NBAR data, SRTM DEM, ECMWF climate data and use the Random Forest machine learning method.

Bibl. 22, fig. 4.

UDK 004-93

Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. **Fuzzy type-2 in the task of increasing the reliability of image segmentation** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.74 – 84.

The paper presents the possibilities of increasing the reliability of image segmentation and the clarity of identifying the boundaries of objects of interest through the use at the fuzzification stage the membership functions of type-2. The presented algorithm allows to automate the calculation of transformation parameters taking into account the bright

characteristics of the original data. Experimental results are given on the example of a real image of an electron microscope of an iron alloy sample.

Ref. 9, fig. 5.

UDK 629.4.053:621.383.51

Dzenzersky V.O., Plaksin S.V., Pogorila L.M. **High-speed magnetolevitative land transport with power supply from distributed photoelectric energy system with promising energy storage** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.85 – 98.

An improved real-time control system for maglev transport has been developed, which has a high-precision high-speed navigation system and an all-weather guaranteed power supply system based on solar energy.

Bibl. 10, ill. 11.

UDK 004.42:378.2

Rostoka M. **Adaptive tools for formation of the knowledge base of information and analytical system of training scientific staff** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.99 – 114.

An improved real-time control system for maglev transport has been developed, which has a high-precision high-speed navigation system and an all-weather guaranteed power supply system based on solar energy.

The author emphasizes the urgency of preserving the integrity of the scientific and educational process for the training of highly qualified personnel in higher education universities and research institutions. It is noted that the consequences of force majeure, including quarantine from the COVID-19 pandemic and the current martial law in Ukraine, cause some adjustments in the organization of training of scientific staff. In this regard, it is likely that the problem of creating a fundamentally new information-analytical system (IAS), which in this vector will include a specific knowledge base following the requests of research users – subjects of scientific training. Thus, the article aims to present the results of the doctoral research, in particular on the intermediate content analysis of scientific, information and reference, educational and methodological and other literature sources and practice-oriented resources on the development of information technology and systems and their adaptive transfer, which will contribute to the accumulation of analytical information and its digitization. Emphasis is placed on the rationality of creation and use of intelligent IAS based on the formed specific knowledge bases using semantic technologies and ontological modelling. This is due to the existence of a large amount of diverse analytical information, based on which the issues of any research, which in the context of training is a mandatory component of scientific and educational activities of applicants for scientific education (undergraduates, graduate and doctoral researchers, etc.). It is claimed that a modern researcher will be able to master modern tools and expert technologies of information and analytical activities. A brief description of the adaptive tools with which the formation of a specific knowledge base in the IAS of training of scientific staff is presented. It is noted that semantic and ontological approaches are the most effective in this regard for building

information systems, in particular those related to the development of information-analytical competence of applicants for scientific education.

Bibl. 29.

UDK 621.878

Malich Mykola, Kress Denis, Rizo Zakhar **On the question of determining the quantity of energy necessary for the disintegration of rocks to a certain size** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.115 – 130.

The analysis of the existing classical theories for determining the amount of energy required for the disintegration of solids has been carried out. Each of them implements only a small part of the spectrum of conditions for crushing and grinding rocks. At the same time, they practically do not take into account the contact friction between the tool and the rock. The authors propose to use a new theory of local destruction of rock with a symmetric and asymmetric distribution of contact shear stresses, which theoretically provides a reduction in the specific energy of destruction by 40–45 times, which makes it possible to search for new ways to control the disintegration process at the lowest energy costs.

Bibl. 4.

UDC 004.622

Zgurovskiy Y.Yu., Sulema E.S., Sayapina I.O. **Designing an architecture for storing a temporally coherent model of a digital twin** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.131 – 142.

Based on the concepts of the TimescaleDB database, a three-level architecture was designed for storing and aggregating multimodal data of a digital twin. Due to the use and adaptation of the concept of distributed hypertables, TimescaleDB offers efficient storage and reproduction of a temporally coherent model.

Bible 10, ill. 4.

UDC 681.04

Polissky Yuriy **Algorithms of direct transformation of a position number to the system of residual classes and its inverse transformation** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.143 – 150.

The results of the study indicate the possibility of obtaining a more efficient solution that simplifies the practical implementation of operations for direct conversion of numbers from the positional number system to the number system of residual classes and inverse conversion of numbers. The aim of the study is to analyze the implementation of the operations of direct conversion of numbers from the positional number system to the number system of residual classes and the reverse conversion of numbers.

Bibl. 4.

UDC 622.776

Pryadko N., Muzyka L., Pryadko O. **Database for numerical simulation of gas flows in a gas jet grinder** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.151 – 157.

The process of material jet grinding is analyzed from the point of view of the granulometric material composition changing in the main elements of the grinding plant. A database of dependencies connecting the technological parameters of the process and the acoustic signal characteristics of the mill operating zones has been created. The advantage of the approach to building mathematical models and creating an automatic control system based on the developed database is the ability to accurately describe most of the factors affecting the grinding efficiency, the possibility of describing with the necessary details for specific material grinding and obtaining the required size of the ready product. The use of connections between acoustic signals and technological parameters makes it possible to take into account the patterns of changes in the material particle size distribution during the passage of the flow in the grinding plant channels and respond to changes in the product quality or the grinding mode on-line, without wasting time on transport delays.

Bibl. 5.

UDK 004.056.5

Tarasenko Yu.S., Klym V.Yu. **Safety of critical infrastructure objects from the positions of risk effectiveness reduction** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.158 – 168.

The structural and linguistic scheme of the methodology of construction of the System of protection and safety of critical infrastructure objects (CIO) from the standpoint of risk effectiveness is proposed. An analysis of the system for assessing the security risk of the set of CIOs and access to it was carried out. It actually has a universal structure and can be used in any organized field of activity of society, regardless of the type of industry, the size of the organization, the level of professionalism of the staff responsible for security. The advisability of the increased obligations concerning reliability and safety of measuring instruments is proved in order to strict requirements for cybersecurity risk assessment in terms of realization the principle of uncertainty while ensuring the metrological reliability of measurements.

Ref. 14, im. 1, table 3.

UDK 620.1 (0.83)

Yasev O.G. **Experimental modeling mechanical qualities of heatcover screens** // System technologies. N 4(141) - Dnipro, 2022.- P.169 – 179.

Basic physical and mechanical properties of heatcover composition material that is used for making of protective screens are experimentally investigated. For this purpose on the example of flowed plastic STEF executed (with the use of traditional charts) research at small (less than 1 m/s) and high (more than 3 m/s) rate-of-change of ladening. At small speeds of ladening durability of material was investigated at superficial deformation, tension, bend and change. At high speeds work of destruction and shock viscosity was determined.

The results of experimental researches drawn on at the decision of concrete design-engineering tasks, in particular, at development of equipment and choice of the modes of crushing of composition materials during their utilization (although, undoubtedly, the obtained data have more wide value).

Bibl. 4, il. 10, tabl. 2.

UDC 004.054:681.3.068

Ostrovska K.Yu., Stovpchenko I.V., Kaliberda Yu.O. **Development of a web site interface assessment system based on fuzzy logic** // System technologies. N 4(141) - Dni-pro, 2022.- P.180 – 190.

The task of the automated assessment of the usability of websites is up-to-date. The method of work is the development of a system for evaluating the interface of websites based on fuzzy logic. As part of the work, a system was developed that determines the usability of the site interface based on the rules of fuzzy logic.

Bibl. 6.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 4 (141)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 27.05.2022. Підписано до друку 31.05.2022.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 14,643. Обл.-видавн. арк. – 12,813.

Тираж 300 прим. Замовл. – 04/22

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. Сташціа, Польща

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна