

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20

Збірник наукових праць

Випуск 20
(вересень, 2022)

Луцьк 2022

УДК 006, 537, 538, 546, 620, 621, 681

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 2 від 29 вересня 2022 р.

Свідоцтво Міністерства юстиції України про державну реєстрацію:
Серія КВ №18466-7266Р від 15.12.2011р.

ISSN: 2313-5352

Засновник Луцький національний технічний університет

Друкується в авторській редакції

«Перспективні технології та прилади» // м. Луцьк вересень 2022р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2022.-118с.

В збірник включені статті, що відображають наукові та практичні результати сучасних розробок технології машино- та приладобудування, особливості експлуатації та повірки засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та медичних приладів і систем. Представленні сучасні досягнення та перспективні напрямки розвитку технології виготовлення та складання машин і приладів в різних галузях народного господарства.

Адреса організаційного комітету:

Україна, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, Луцький національний технічний університет, технологічний факультет, кафедра прикладної механіки та мехатроніки.

Телефон: (050) 378-82-31

Факс: (0332) 74-48-40

e-mail: confkptm@gmail.com

© Луцький національний технічний університет, 2022 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ВИДАННЯ	
Марчук Віктор Іванович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.	
ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА	
Четвержук Тарас Іванович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.	
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР:	
Валецький Богдан Петрович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.	
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	
1.	Заболотний Олег Васильович , кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи та досліджень, Луцький національний технічний університет, Україна.
2.	Захаров Ігор Петрович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри метрології та технічної експертизи, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
3.	Антонюк Віктор Степанович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
4.	Гераїмчук Михайло Дем'янович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
5.	Гайдук Мікулаш (Hajduk Mikuláš) , доктор технічних наук, професор, професор кафедри робототехніки, Технічний університет Кошице, Словаччина.
6.	Редько Ростислав Григорович , кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.
7.	Повстяной Олександр Юрійович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.
8.	Ларшин Василь Петрович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри цифрових технологій в інжинірингу, Національний університет «Одеська політехніка», Україна.
9.	Антоній Свіць (Antoni Shwic) , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатизації та роботизації продукції, Люблінська політехніка, Польща.
10.	Богуш Вісніцкі (Bogusz Wisnicki) , PhD, доцент, факультет транспортної інженерії та економіки, Щецинська морська академія, Польща.
11.	Марцін Штепанек (Marcin Szczepanek) , PhD, доцент, факультет морської інженерії, Щецинська морська академія, Польща.
12.	Станіслав Іван (Stanislaw Iwan) , доктор технічних наук, професор, факультет транспортної інженерії та економіки, Щецинська морська академія, Польща.
13.	Збігнев Матушак (Zbigniew Matuszak) , доктор технічних наук, професор, факультет транспортної інженерії та економіки, Щецинська морська академія, Польща.
14.	Андрущак Ігор Євгенович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення, Луцький національний технічний університет, Україна.
15.	Ткачук Анатолій Анатолійович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет, Україна.
16.	Гулай Любомир Дмитрович , доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна.
17.	Денисюк Віктор Юрійович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Україна.
18.	Коломієць Леонід Володимирович , доктор технічних наук, професор, ректор, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Україна.
19.	Куц Юрій Васильович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
20.	Лапченко Юрій Сергійович , кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Україна.

21.	Марчук Ірина Вікторівна , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Україна.
22.	Луців Ігор Володимирович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
23.	Марек Опеляк (Marek Opielak) , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчового машинобудування, Люблінська політехніка, Польща.
24.	Мірослав Пайор (Miroslaw Pajor) , доктор технічних наук, професор, декан факультету механічної інженерії та мехатроніки, Західнопоморський технічний університет, Польща.
25.	Пастернак Ярослав Михайлович , доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики та механіки, Луцький національний технічний університет, Україна.
26.	Пермяков Олександр Анатолійович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та металорізючі верстати, Національний технічний університет України «Харківський політехнічний інститут», Україна.
27.	Середюк Орест Євгенович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.
28.	Тимчик Григорій Семенович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
29.	Ткачук Роман Андрійович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри біотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
30.	Тонконогий Володимир Михайлович , доктор технічних наук, професор, директор Інститут цифрових технологій, дизайну та транспорту, Національний університет «Одеська політехніка», Україна.
31.	Федосов Сергій Анатолійович , доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського, Волинський національний університет імені Лесі Українки, Україна.
32.	Шваб'юк Василь Іванович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної математики та механіки, Луцький національний технічний університет, Україна.
33.	Яворський Богдан Іванович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
34.	Ярошевич Микола Павлович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.
35.	Григор'єва Наталія Сергіївна , доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.
36.	Тулашвілі Юрій Йосипович , доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук, Луцький національний технічний університет, Україна.
37.	Шабайкович Віктор Антонович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Луцький національний технічний університет, Україна.

ЗМІСТ	
Банга В.І., к.т.н. Методика експериментальних досліджень вимірювання маси потоку комбікормів	6
Білик С.Г. к.т.н., доцент, Диня В.І. к.т.н., доцент Теоретичні доведення розмірів гнучкого робочого органу тросового конвеєра	12
Гаєвський В.Р., Филипчук В.Л. Гаєвська С.Г. Вплив коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води на ефективність роботи конденсаторів парових турбін	17
Гевко О.В., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Дозорська О.Ф. Структурний синтез вібромасажної апаратури	23
Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Марчук І.В., к.т.н., доц., Шабайкович В.А., д.т.н., проф. Прогнозування розвитку комп'ютерно-інтегрованого складального виробництва приладобудування	32
Дубчак Н. А., Кирик О. М. Експериментальні дослідження коренезбиральної машини та методики проведення аналізу результатів	38
Катасва М.О., Квашук Д. М. Розробка методу підвищення точності та швидкодії вимірювальних комплексів	45
Кузнєцов Ю.М., Бєляєва А.Ю., Гао Сінмін Розробка динамічної моделі фрезерного верстата з врахуванням конструктивних особливостей лещат	51
Ліннік А.Ю. к.т.н., доц.. Обґрунтування конструкції та кінематичного режиму роботи гичкоочисного пристрою	57
Луньов С.В., Цизь А.І. Електричні та тензоелектричні властивості γ -опромінених монокристалів n-Si	63
В.І. Марчук, І.В. Марчук, Ю.А. Лук'янчук, Ю.Й. Тулашвілі Практичний досвід використання технології 3D-друку	69
Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В. Дослідження впливу режимів шліфування та параметрів переривчастого шліфувального круга на температуру шліфування кілець роликотішлипників	78
Пальчевський Б.О. д.т.н., проф., Маркіна Л.М. Оптимізація процесу керування приготуванням замісу в спиртовому виробництві	82
Панкевич С.С., асп., Мартинюк О.С., д-р пед. наук, Федосов С.А., д-р фіз.-мат. наук Важливість фізики при підготовці студентів медичного профілю	88
Сахнюк І.О., Кириленко Л.В., Битков М.Х., Рудак Н.П. Перегляд певних засад із питань стандартизації та суміжних видів діяльності	96
Филипчук Л.В. Моделювання роботи автоматизованої системи керування процесом реагентного відновлення токсичних домішок у непроточних умовах	101
Фльонц І.В. к.т.н., доц, Юрчишин Н.І. викладач методист Визначення конструктивно силових параметрів транспортера-сепаратора коренеплодів з хвилеподібним утримувачем	108
Фльонц О.В. Теоритичне обґрунтування подачі конвеєрної стрічки в зону різання дисковими ножами	114

УДК 631.22. DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-01

Банга В.І., к.т.н.

Львівський національний університет природокористування

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ ПОТОКУ КОМБІКОРМІВ

У статті наведено огляд і аналіз вимірювачів потоків мас кормів, схему системи вимірювання та загальний вигляд вимірювача маси потоку комбікорму, передбачено наявність засобів для вимірювання, реєстрації та передачі інформації електричними сигналами біжучих значень маси потоку комбікорму в динамічному режимі, відображення і зберігання інформації та контрольно-вимірювальні прилади.

Подано експериментальну установку та методику експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії багатofакторного планованого експерименту, наведено рівні варіювання факторів, матрицю плану експерименту, рівняння регресії для визначення вихідної напруги вимірювача маси потоку комбікорму від зміни зусилля згинального моменту тензовимірювальної площини.

Запропонована методика експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії планованого експерименту дає змогу встановити оптимальні значення досліджуваних факторів (площу поперечного перерізу і довжину тензовимірювальної площини та величину згинального моменту тензовимірювальної площини), підвищити достовірність результатів експерименту.

Ключові слова: вимірювач маси потоку, комбікорм, система вимірювання, експериментальна установка, планований експеримент, вихідна напруга, тензодатчик.

Постановка проблеми. Питання визначення нерівномірності дозування дозуючих механізмів в процесі їх роботи є актуальним, так як дозатори повинні забезпечувати відповідну рівномірність і точність норми видачі [1, 2]. Це вимагає наявності відповідного обладнання. Без розробки та використання сучасних комп'ютеризованих методів вимірювання і обліку потоків мас в динамічному режимі неможливо забезпечити належний рівень точності та швидкодю знімання інформації. Тому розробка і дослідження вимірювача маси потоку сипких кормів є актуальною.

Реалізація вимірювача маси потоку комбікормів на сучасній елементній базі повинно забезпечити високу точність вимірювання з низькою постійною часу вимірювання. Для реалізації такого вимірювача необхідно дослідити залежність зміни вихідного параметру від силових характеристик, що діють на вимірювальний елемент, обґрунтувати конструктивні параметри системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вимірювання маси потоку комбікормів існує ряд методів: ваговий із використанням ковшових та стрічкових автоматичних ваг; силовий, тахометричний, флуктуаційний, іонізаційний, кореляційний, оптичний, точковий. Кожен із методів має свої переваги та недоліки і може використовуватися в окремих випадках та при відповідних умовах, крім того, не завжди забезпечується оптимально допустима точність вимірювання. Найбільш оптимальним є ваговий метод, де точність вимірювання досягає 1,5 – 2,0 % [3-5]. Тому за основу прийнято даний метод і запропоновано динамічно-ваговий спосіб вимірювання маси потоку комбікормів.

Постановка завдання. Наше завдання – підвищення точності вимірювання шляхом вдосконалення конструкції та визначення вихідної напруги вимірювача маси потоку комбікорму від зміни зусилля згинального моменту тензовимірювальної площини.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження нерівномірності видачі індивідуальним дозатором використовували вимірювач маси потоку комбікормів, схема системи вимірювання, блок-схема і загальний вигляд вимірювача показані на рис. 1, 2, 3 [6,7].

В основу винаходу поставлена задача створення такого вимірювача маси потоку комбікорму, в якому нове виконання вимірювального елемента дозволить спростити конструкцію вимірювача, зменшити металомісткість та підвищити точність вимірювання.

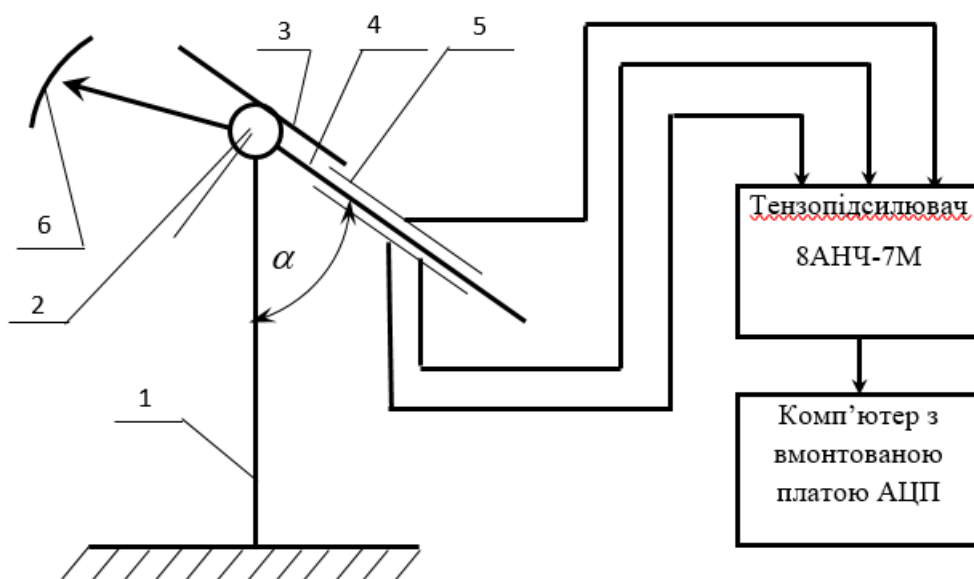


Рисунок 1. Схема системи вимірювання маси потоку комбікормів:
1 – опора; 2 – поздовжня балка; 3 – компенсатор динамічних зусиль; 4 – тензовимірювальна площина; 5 – тензодавачі; 6 – механізм зміни кута нахилу тензовимірювальної площини.

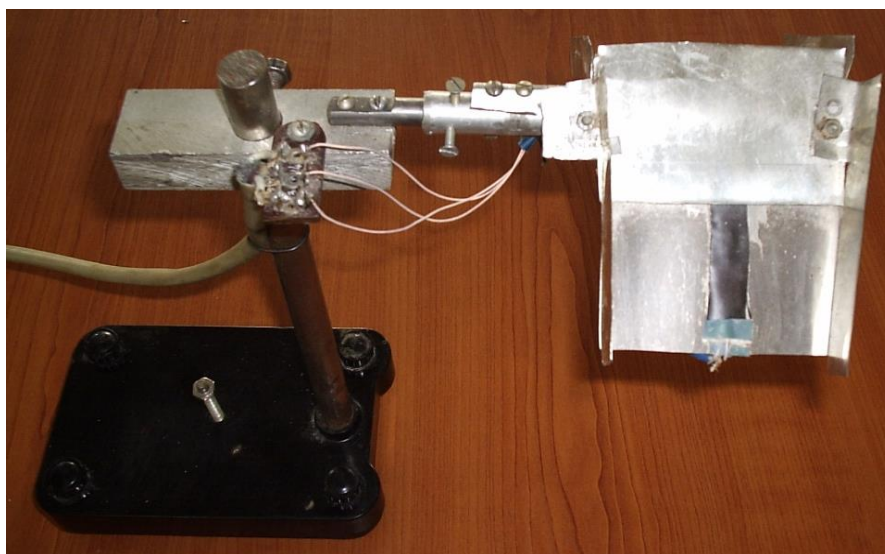


Рисунок 2. Загальний вигляд вимірювача маси потоку комбікорму

Дослідження проводили таким чином. Потік сипкого комбікорму подавався на площинний компенсатор динамічних зусиль 3 де поглиналась кінетична енергія частинок сипучого корму. З площинного компенсатора 3, корм під дією сили тяжіння зсувався по тензовимірювальній площині 4. При проходженні частинок корму через тензовимірювальну площину 4 під дією сили тяжіння площина прогиналася. Прогин фіксувався тензодавачами 5, рівномірний зсув частинок корму по тензовимірювальній площині 4 залежно від фізико-механічних характеристик ікорму забезпечувався зміною кута нахилу α вимірювальної площини 4 та компенсатора динамічних зусиль 3. Сигнал, який надходив від вимірювальної площини 4, як це показано на рис. 1, підсилювався тензопідсилювачем 8АНЧ-7М. Результуючі сигнали сприймав блок аналогово-цифрового перетворення L-154, який встановлений в ПЕОМ.

Запис реалізації випадкового процесу нерівномірності видачі відображався на моніторі ПЕОМ. Інформація в цифровому вигляді записувалася у файл досліджень, а за необхідності

виводилася на принтер. Блок-схема для дослідження нерівномірності дозування робочих органів дозатора вимірювачем маси потоку сипучих матеріалів наведена на рис. 3.

Основними перевагами запропонованої методики порівняно з існуючими є синхронна з роботою індивідуального дозатора обробка результатів досліджень і відображення на моніторі ПЕОМ або створення твердих копій реалізацій випадкового процесу у вольтах (В). Завдяки високій швидкодії застосовуваного аналогово-цифрового перетворювача у випадку необхідності можна забезпечити таку дискретизацію неперервного випадкового процесу дозування дозатором, що дозволяє одержати до 100 значень і більше за секунду і, як наслідок, високу інформативність досліджень.

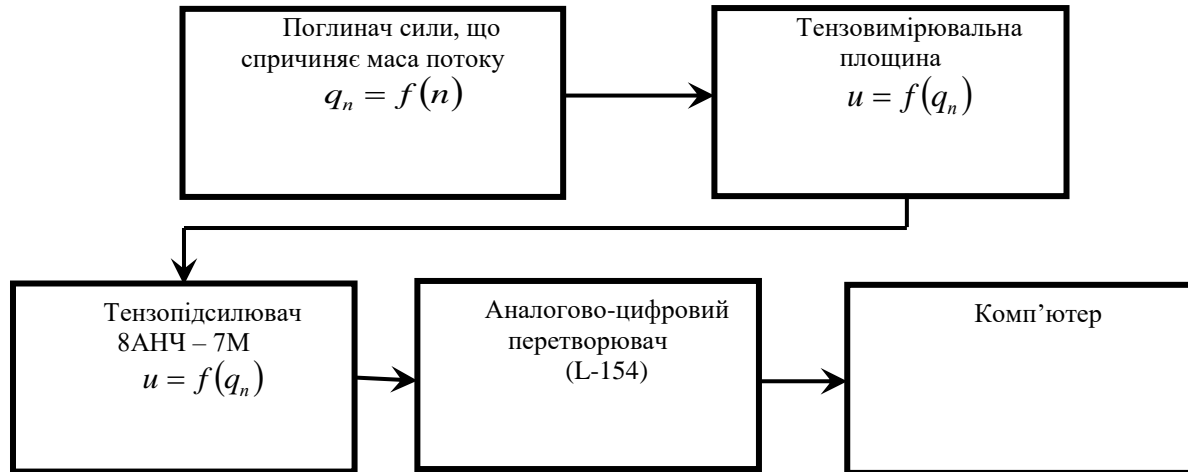


Рисунок 3. Блок-схема вимірювання маси потоку комбікорму

Для обґрунтування конструктивно-технологічних розмірів тензовимірювальної площини необхідно провести повний трифакторний планований експеримент на трьох рівнях типу 3^k , (k – число факторів) плану другого порядку Бокса-Бенкіна за відомою методикою [8-10]. Інтервали і рівні варіювання факторів наведені в табл. 1, а матриця плану у табл. 2.

Таблиця 1

Інтервали і рівні варіювання факторів

Рівень варіювання факторів	Кодовані значення	Площа поперечного перерізу S , м ²	Довжина тензовимірювальної площини L , м	Згинальний момент тензовимірювальної площини M , Н·м
Верхній	+	0,152	0,152	0,22
Основний	0	0,111	0,111	0,16
Нижній	–	0,07	0,070	0,10
Інтервал варіювання	ε	0,041	0,041	0,06

За критерій оптимізації прийнято вихідну напругу тензодатчиків U вимірювача маси потоку. Факторами, які впливають на вихідну напругу тензодатчиків U , були площа поперечного перерізу S , довжина тензовимірювальної площини L , згинальний момент тензовимірювальної площини M .

Перед початком експерименту вибирали межі зміни факторів та провели їх кодування.

Кодування факторів проводили за формулою [8, 9]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (1)$$

де x_i – кодоване значення фактору (безрозмірна величина), верхній рівень

позначається +1, нижній -1 (в центрі експерименту нульовий рівень); X_i – натуральне значення фактору; X_{i0} – натуральне значення фактору на нульовому рівні; ε – інтервал варіювання.

Таблиця 2

Матриця плану експерименту

№ експерименту	Варіювання факторами			Критерій оптимізації
	x_1	x_2	x_3	U, B
1	+	+	0	y_1
2	-	-	0	y_2
3	+	-	0	y_3
4	-	+	0	y_4
5	+	0	+	y_5
6	-	0	-	y_6
7	-	0	+	y_7
8	+	0	-	y_8
9	0	+	+	y_9
10	0	-	-	y_{10}
11	0	-	+	y_{11}
12	0	+	-	y_{12}
13	0	0	0	y_{13}
14	0	0	0	y_{14}
15	0	0	0	y_{15}

Інтервал варіювання визначали за формулою [9]:

$$\varepsilon = \frac{x^B - x^H}{2}, \tag{2}$$

де x^B, x^H – значення i -го фактору на верхньому і нижньому рівнях.

Рівняння регресії для трифакторної моделі доцільно шукати у наступній формі [8-10]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \tag{3}$$

Для використання (3) в розрахунку проводили відповідні перетворення лінійних членів рівняння з кодованих значень в натуральні, які визначили за формулою [8]:

$$b_i x_i = \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_{0i}. \tag{4}$$

Перетворення лінійних членів рівняння, які взаємодіють, проводили за формулою [8]

$$b_{ij} x_i x_j = \frac{b_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_j X_{0i} + X_{0i} X_{0j}). \tag{5}$$

Для перетворення квадратних членів використовували формулу:

$$b_{ii} x_i^2 = \frac{b_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2X_i X_{0i} + X_{0i}^2). \tag{6}$$

Коефіцієнти регресії визначали з використанням ПЕОМ у редакторі Excel.

Перевіряли математичні моделі на однорідність дисперсій або на відтворення дослідів за виконання умови [8; 10]

$$G_{роз} < G_{таб}, \tag{7}$$

де $G_{роз}, G_{таб}$ – розрахункове і табличне значення критерію Кохрена, яке вибирається з таблиці дод. 2 для рівня значущості 0,05 [8].

$G_{роз}$ – критерій Кохрена з числом степенів вільності для чисельника [8]:

$$f_c = c - 1, \quad \text{знаменника } f_3 = N_p, \tag{8}$$

де C – число повторностей дослідів;

N_p – число рядків плану.

Розрахункове значення критерію Кохрена $G_{роз}$ визначаємо зі співвідношення [8; 10]:

$$G_{роз} = \frac{S_n^2 \max}{\sum_{n=1}^{N_p} S_n^2}, \quad (9)$$

де $S_n^2 \max$ – максимальне значення рядкової дисперсії;

$\sum_{n=1}^{N_p} S_n^2$ – сумарне значення за рядковими дисперсіями.

Визначали дисперсію S_y^2 , яка характеризує похибки дослідів у матриці плану за формулою [8]:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_p} \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{N_p \cdot (m-1)}, \quad (10)$$

де y_{iu} – значення критерію оптимізації в паралельних дослідях (в u -му рядку);

\bar{y} – середнє значення критерію оптимізації в паралельних дослідях в u -му рядку матриці плану;

m – кількість повторностей одного досліду (одного рядка матриці плану).

Перевірку на адекватність моделі проводили за критерієм Фішера $F_{роз}$. Модель є адекватною, якщо виконується умова: $F_{роз} < F_{таб}$ [5], де $F_{роз}$, $F_{таб}$ – розрахункове і табличне значення критерію Фішера, яке вибирається з табл. дод. 3 для рівня значущості 0,05 з числом степенів вільності чисельника $f_u = N_p - d$, знаменника $f_z = N_p \cdot (m-1)$ [8, 9].

де d – кількість значущих коефіцієнтів.

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз}$ визначаємо з відношення [10]:

$$F_{роз} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (11)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

Дисперсія адекватності S_{ad}^2 визначається як [10]:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_p} (\hat{y}_u - \bar{y})^2}{N_p - d}, \quad (12)$$

де \hat{y}_u – розрахункове (за рівнянням регресії) значення параметра оптимізації.

Висновки. Запропонована методика експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії планованого експерименту дає змогу встановити оптимальні значення досліджуваних факторів

(площу поперечного перерізу, довжину тензовимірювальної площини, величину згинального моменту тензовимірювальної площини), підвищити достовірність результатів експерименту.

Інформаційні джерела:

1. Банга В. І., Дмитрів В. Т., Сиротюк В. М., Городняк Р. В. Автоматизований роздавач-дозатор комбікормів для індивідуальної нормованої годівлі корів: монографія. Львів: Сполом, 2018. 233 с.
2. Степук Л.Я. Механізація дозирования в кормоприготовлении. Минск: Ураджай, 1986. 152 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудования для приготовления кормов. Кукта. М.: Агропромиздат, 1987. 150 с.

4. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений : учебник для вузов. 3-е изд., стер. Издательский центр «Академия», 2006. 336 с.
5. Дивин А.Г., Пономарев С.В., Мозгова Г.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие. В 5 ч. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. Ч. 2. 108 с
6. Пат. 48479А Україна, МКИ G01F1/76. Вимірювач маси потоку сипучих матеріалів. № 2001096131; заявл. 05.09.01; опубл. 15.08.02, Бюл. № 8. 4 с.
7. Дмитрів В.Т., Банга В.І., Сиротюк В.М. Вимірювач потоку сипких матеріалів. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок ЛНАУ/* За заг. ред. В.В. Снітинського, В.І. Лопушняка. Вип. 11. Львів, 2011. С. 14.
8. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 163 с.
9. Дмитрів І. В. Теорія та технологія наукових досліджень: механічна інженерія: навч. посіб. Львів: СПОЛОМ, 2017. 212 с.
10. Львович Я. Е., Фролов В. Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. Москва: Радио и связь, 1986. 192 с.

Banha V.I., Ph.D.

Lviv National University nature management

METHODS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF MEASUREMENT OF MASS FEED FLOW

The article presents an overview and analysis of feed mass flow meters, scheme of measurement system and general view of feed flow meter, provides for measuring, recording and transmitting information by electrical signals of running values of feed flow weight in dynamic mode, display and storage of information and control measuring instruments.

The experimental setup and methods of experimental research of feed flow mass meter using the theory of multifactor planned experiment are given, the levels of factor variation, the matrix of the experimental plan, the regression equation to determine the output voltage of the feed flow mass meter from the change in bending moment of the strain gauge.

The proposed method of experimental studies of feed flow mass meter using the theory of the planned experiment allows to establish the optimal values of the studied factors (cross-sectional area and length of strain gauge plane and bending moment of strain gauge plane), increase the reliability of results.

The main advantages of the proposed method in comparison with the existing ones are simultaneous processing of research results and display on a PC monitor or creation of hard copies of random process implementations in volts (В). Due to the high speed of the applied analog-to-digital converter, if necessary, it is possible to ensure such discretization of the continuous random dosing process by the dispenser, which allows to obtain up to 100 values or more per second and, as a result, highly informative research.

Key words: *flow mass meter, compound feed, measuring system, experimental setup, planned experiment, output voltage, strain gauge.*

УДК 631.356

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-02

Білик С.Г. к.т.н., доцент, Диня В.І. к.т.н., доцент.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ТЕОРЕТИЧНІ ДОВЕДЕННЯ РОЗМІРІВ ГНУЧКОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ТРОСОВОГО КОНВЕЄРА

Приведена конструкція гнучкого робочого органу тросового конвеєра, яка забезпечує транспортування сипучих матеріалів в переробній та інших галузях зменшує силу транспортування сипучих матеріалів в циліндричних трубах і покращує умови транспортування що підвищує експлуатаційну надійність і довговічність робочого органу. Виведені аналітичні залежності для визначення продуктивності тросового конвеєра і конструктивних параметрів. Технологічні процеси виробництва, пов'язаних з сипкими, порошкоподібними матеріалами нерозривно пов'язані з переміщенням великої кількості вантажів по прямолінійних і криволінійних лініях. Тому в забезпеченні транспортних потоків, комплексної механізації і автоматизації праці на підприємствах провідну роль відіграють системи циліндричних транспортно-технологічних механізмів, як одного із надійних видів транспорту. Перевагами такого транспортування є велика герметичність, різноманітність просторових криволінійних ліній, можливість використовувати для жолобів стандартні труби, а для скребків – круглі тонкостінні диски. Основним недоліком цих конвеєрів є недостатня експлуатаційна надійність і довговічність, особливо при переміщенні на криволінійних ділянках транспортувальних ліній. Тому обґрунтування параметрів гнучких робочих органів тросових конвеєрів є актуальним і має важливе значення.

Ключеві слова: тросовий конвеєр, гнучкий робочий орган, сипучі матеріали.

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Питаннями транспортування сипких матеріалів по прямих і криволінійних лініях присвячені праці Омельченка О.О.[1], Григор'єва А.М. [2], Гевка Б.М. [3] Рогатинського Р.М. [5] та багатьох інших. Транспортування сипучих матеріалів по криволінійних лініях циліндричними конвеєрами з використанням гнучких тросових робочих органів недостатньо досліджені і потребують свого подальшого опрацювання з метою зменшення зусилля транспортування і підвищення експлуатаційної надійності і довговічності робочих органів і транспортних циліндричних мереж.

Мета роботи. підвищення експлуатаційної надійності гнучких тросових робочих органів при транспортуванні сипучих матеріалів по криволінійних ділянках конвеєрів.

Виклад основного матеріалу. Підвищення експлуатаційної надійності і довговічності гнучких тросових робочих органів можна здійснювати відповідними робочими органами в яких прикладання сили подачі сипучих матеріалів здійснюється в циліндричних трубах по центрі поперечного сечення маси потоку з автоматичним саморегулюванням. В еліптичних отворах це здійснюється саморегулюванням розміщення троса в еліпсному отворі подавальних дисків.

Конструкція такого робочого органу представлена на рис.1, який виконано у вигляді гнучкого троса 1 до якого перпендикулярно до його осі жорстко закріплено подавальні диски 2 через певний крок. З двох сторін подавальні диски 2 є у взаємодії з упорними шайбами 3 з видовженими ступицями 4, в центральних отворах 5 яких жорстко закріплено гнучкий канат 1.

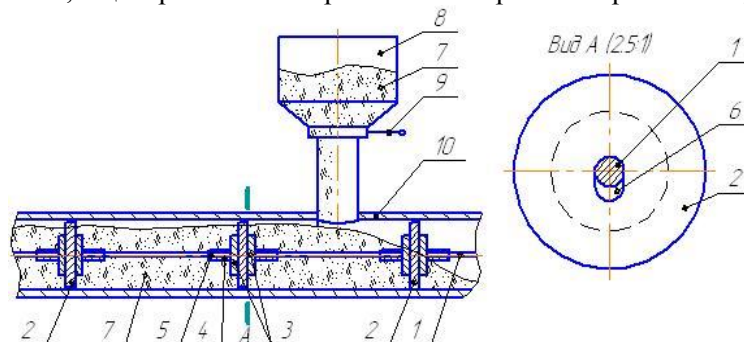


Рис. 1. Робочий орган гвинтового тросового конвеєра

По центру подавальний дисків 2 виконані вертикальні еліпсні отвори 6, менший діаметр яких є більшим зовнішнього діаметра гнучкого троса 1, а більший діаметр є рівним 2...3 зовнішнім діаметрам гнучкого троса з можливістю радіального переміщення. Таке розміщення гнучкого троса в еліпсному вертикальному отворі забезпечує самоцентрування прикладання сили подачі по центру поперечного січення транспортного потоку. Зовнішній діаметр упорних шайб 3 є меншим зовнішнього діаметра подавальних дисків 2. Для завантаження сипких матеріалів 7 в зону транспортування використовують бункер 8 з шибером 9, які встановлені зверху транспортної труби 10.

Робота робочого органу гнучкого тросового конвеєра здійснюється наступним чином. Сипкий матеріал 7 з бункера 8 при відкритому шибері 9 поступає в трубу 10 тросового конвеєра. При його переміщенні в трубі подавальні диски 2 захоплюють сипкий матеріал і переміщують до вивантажувальних вікон. Так як поперечне січення труби 10 заповнено не повністю то сила подачі сипучих матеріалів 7 буде автоматично центруватися в транспортній трубі автоматичним зміщенням троса 1 у вертикальних еліптичних отворах подавальних дисків по центру поперечного січення маси потоку. При цьому упорні шайби 3 з видовженими ступицями 4 будуть сприяти дотриманню перпендикулярного положення подавальних дисків 2 до осі троса чим будуть покращувати умови транспортування сипучих матеріалів і відповідно при цьому зменшуватимуться зусилля переміщення.

Особливістю цього робочого органу є покращення умов транспортування і зменшення зусилля переміщення вантажів в транспортних трубах 10 і відповідно збільшувати експлуатаційну надійність і довговічність робочих органів, особливо на радіусних переходах.

Для розрахунку зусиль, які діють на ланку приводу гнучкого тросового конвеєра використаємо розрахункову схему зображену на рисунку 2. Оскільки Г-подібні штовхачі привода кріпляться до привідного диска мінімум у двох локалізованих точках то внаслідок зусилля Q , яке уособлює дію маси вантажу і сил тертя транспортуючих дисків до поверхні U-подібної траси конвеєра, Г-подібний штовхач функціонує як типовий важіль і основні зусилля сконцентровані у відповідних точках його взаємодії із транспортуючим диском і місць кріплення до привідного диска, тобто точки 1, 2, 3.

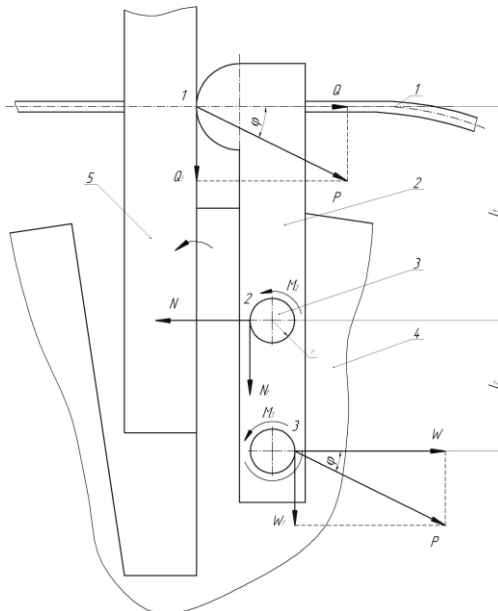


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення зусиль, які діють на ланку приводу гнучкого тросового конвеєра

1 – канат; 2 – Г-подібний штовхач; 3 – заклепки; 4 – привідний диск; 5 – подавальний диск

Відповідно для визначення співвідношення між зусиллям Q і силою W , яка діє на крайню точку кріплення Г-подібного штовхача 2 до привідного диска 4, розглянемо їх сумарну дію на прямий важіль роль якого в даному випадку виконує Г-подібний штовхач. Тобто зусилля Q , яке уособлює дію маси вантажу і сил тертя транспортуючих дисків до поверхні U-подібної траси конвеєра, діє на один кінець Г-подібного штовхача на деякій відстані l_1 , числове

значення якої є конструктивною величиною, від так званої осі коливання, яка знаходиться в точці 2. Відповідно коли подавальний диск контактує із поверхнею Г-подібного штовхача зусилля Q дещо зміщує його навколо осі в точці 2, а на протилежному боці штовхача, в місці його фіксації, виникає сила W , яка діє на місце фіксації Г-подібного штовхача до привідного диска і може спричинити руйнування кріплення. Попередньо можна припустити, що внаслідок різниці між значеннями плечей l_1 і l_2 , а також з врахуванням втрат на тертя, що значення сил Q і W будуть різними. Для визначення співвідношення даних сил використаємо принцип обертання важеля, тобто точкою обертання у нашому випадку буде т.2. Відповідно позначимо реакцію на осі даного важеля через N від якої виникає сила тертя Nf , яка перешкоджає провертанню.

Для визначення нормальної сили N запишемо умову рівноваги Г-подібного штовхача відносно точки 3 розрахункової схеми, але без врахування сили тертя. Відповідно

$$M_3 = Nl_2 - Q(l_1 + l_2), \quad (1)$$

але

$$N = \frac{Q(l_1 + l_2)}{l_2}, \quad (2)$$

тобто

$$N = Q + W. \quad (3)$$

Для визначення співвідношення між зусиллям Q , яке уособлює дію маси вантажу і сил тертя транспортуючих дисків до поверхні U-подібної траси конвеєра та силою W , яка діє на місце фіксації Г-подібного штовхача до привідного диска, знайдемо рівняння рівноваги штовхача відносно т.2 з урахуванням тертя від сили N .

$$M_2 = Ql_1 - N \cdot f \cdot r - Wl_2 = 0, \quad (4)$$

Відповідно

$$Ql_1 = Wl_2 + N \cdot f \cdot r; \quad W = \frac{(Ql_1 - N \cdot f \cdot r)}{l_2}. \quad (5)$$

Підставивши у формулу (5) значення сили N згідно рівності (3) отримаємо

$$W = \frac{(Ql_1 - (Q + W) \cdot f \cdot r)}{l_2} = \frac{(Ql_1 - Qfr - Wfr)}{l_2}; \quad (6)$$

$$Wl_2 = Ql_1 - Qfr - Wfr; \quad (7)$$

$$Wl_2 + Wfr = Ql_1 - Qfr, \quad (8)$$

відповідно

$$W = \frac{Q(l_1 - fr)}{(l_2 + fr)}, \quad (9)$$

$$Q = \frac{W(l_2 + fr)}{(l_1 - fr)}. \quad (10)$$

Передаточне відношення рівне

$$i = \frac{W}{Q} = \frac{Q(l_1 - fr) \cdot (l_1 - fr)}{W(l_2 + fr) \cdot (l_2 + fr)} = \frac{Q(l_1 - fr)^2}{W(l_2 + fr)^2}. \quad (11)$$

Згідно даних, отриманих шляхом підстановки різних варіантів даних конструктивних параметрів з'єднуючих елементів, отримані наступні графічні залежності зміни навантаження, яке здатне сприймати з'єднання без порушення його цілісності (рис. 3, 4) для сталі Ст2, 10кп і 20кп і різних діаметрів заклепок.

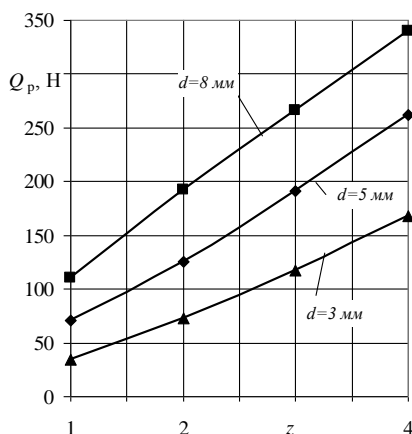


Рис. 3. Графічні залежності зміни зусилля відривання головок (розриву) з'єднання від кількості площин розриву (кількості заклепок) для різних типорозмірів заклепок

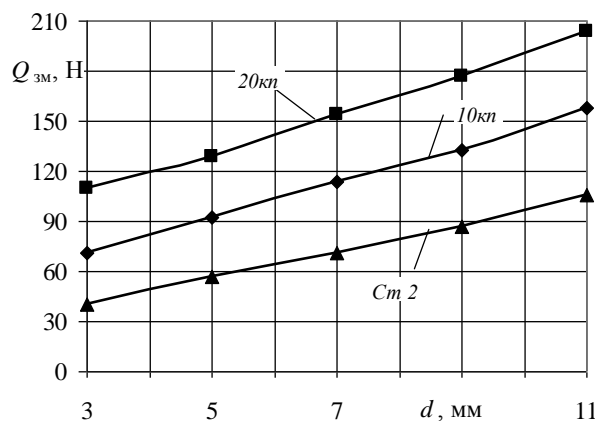


Рис. 4. Графічні залежності зміни зусилля з'єднання від діаметра заклепок для різних матеріалів

Як видно із графічних залежностей, отриманих розрахунком теоретичних даних, міцність з'єднання можна забезпечити підбором матеріалу заклепки, її діаметром, а також їх кількістю. Проте кожен із цих параметрів має своє обмеження, зокрема матеріали з підвищеними значеннями допустимих напружень і збільшені типорозміри заклепки (діаметри) вимагають значних зусиль при формуванні головок, а отже і відповідного обладнання. Крім того великі значення діаметрів і кількості заклепок обмежуються габаритами зони фіксації і викликають послаблення з'єднання. Тобто завищені вимоги до матеріалу заклепки, її діаметральних значень, а також кількості є, з певної точки зору, нетехнологічними, а отже недоцільними, а для вибору оптимальних значень необхідно проводити попередні перевірочні розрахунки за вище запропонованою методикою. Однак остаточний вибір раціональних значень параметрів можна провести лише після серії експериментальних досліджень.

На основі проведених теоретичних досліджень можна зробити наступні висновки:

- конструкція гнучкого робочого органу тросового конвеєра, забезпечує зменшення сили транспортування сипучих матеріалів в циліндричних трубах з радіусними ділянками і відповідно підвищує експлуатаційну надійність і довговічність цих конвеєрів;
- описані аналітичні залежності для визначення технологічних і конструктивних параметрів тросових конвеєрів і рекомендації щодо їх проектування.

Інформаційні джерела

1. О.О. Омельченко, Б.Д. Ткач. Довідник по механізації тваринницьких і пташинницьких ферм і комплексів. К.: Урожай, 1992. 271 с.
2. Г.М. Кухта, А.К. Колесник. Механизация и автоматизация животноводства. К.: Вища школа, 1990. 385 с.
3. В.Т. Павлище. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища школа, 1993. 556 с.
4. Пат. № 54102 МПК В65G 33/00 Україна. Гнучкий канатний конвеєр. Гевко Б.М.; Ляшук О. Л.; Стефанів В. М.; Олексин О.В.; Комар Р.В.; Гевко І.Б.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. № u201005330 заявл. 30.04. 10; опубл. 25.10. 10, Бюл. № 20.

Bilyk S., Dynja V.

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Berezghany Agrotechnical institute

THEORETICAL PROOFS OF THE DIMENSIONS OF A FLEXIBLE WORKING BODY CABLE CONVEYOR

The design of the flexible working body of the cable conveyor is presented, which ensures a reduction in the force of transporting bulk materials in cylindrical pipes and improves the conditions

of transportation and, accordingly, increases the operational reliability and durability of the working body. Analytical dependencies are derived for determining the productivity of the cable conveyor and design parameters. Technological production processes related to loose, powdery materials are inextricably linked with the movement of a large number of loads along straight and curved lines. Therefore, systems of cylindrical transport-technological mechanisms, as one of the reliable types of transport, play a leading role in ensuring transport flows, complex mechanization and automation of work at enterprises.

The advantages of such transportation are great tightness, variety of spatial curvilinear lines, the possibility of using standard pipes for chutes, and round thin-walled discs for scrapers. The main disadvantage of these conveyors is insufficient operational reliability and durability, especially when moving on curved sections of transportation lines.

Therefore, the substantiation of the parameters of flexible working bodies of cable conveyors is relevant and important.

Key words: *cable conveyor, flexible working body, loose materials.*

УДК 504.05: 53.083: 628.1

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-03

¹Гаєвський В.Р., ¹Филипчук В.Л. ²Гаєвська С.Г.¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна;²Рівненський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр, м. Рівне, Україна

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ ВОДИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОНДЕНСАТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН

Під час вироблення електроенергії на електростанціях, ефективність теплопередачі залежить від якості теплоносія. На даний час контролюються фізико-хімічні параметри охолоджувальної води, що стосуються визначення схильності її до процесів відкладення малорозчинних солей або до корозії, але не контролюється такий важливий теплофізичний параметр, як коефіцієнт теплопровідності охолоджувальної оборотної води. Тому, необхідно знати теоретичний вплив коефіцієнта теплопровідності на процес теплообміну в конденсаторі парової турбіни і розробляти прилади та методики для його визначення та контролю.

У роботі зроблена теоретична оцінка впливу коефіцієнта теплопровідності на процес теплопередачі у конденсаторі парової турбіни і показано, що зменшення коефіцієнта теплопровідності у межах 8 – 11% дає підвищення температури відпрацьованої пари і відповідно зменшує ефективність роботи конденсатора на 1%. Також запропоновано розробку установки для визначення коефіцієнта теплопровідності води і по результатах експериментальних досліджень показано, що за допомогою такої установки можна визначати коефіцієнт теплопровідності рідин з систематичною похибкою, що становить -3,2% і випадковою похибкою $\pm 1\%$.

Ключові слова: електростанції, теплопередача, охолоджувальна вода, коефіцієнт теплопровідності

Вступ і постановка задачі. Під час вироблення електроенергії на електростанціях, ефективність теплопередачі залежить від якості теплоносія і чистоти теплообмінних поверхонь, що впливає як на якість роботи конденсаторів парових турбін, так і на забруднення навколишнього середовища [1 - 3]. На даний час контролюється багато фізико-хімічних параметрів охолоджувальної води, що стосуються визначення схильності її до процесів відкладення малорозчинних солей або до корозії, але не контролюється такий важливий теплофізичний параметр, як коефіцієнт теплопровідності оборотної води. Цей коефіцієнт для розрахунків наведений у довідниках для чистої води [4]. Оскільки склад оборотних вод може бути дуже різноманітний, то для таких вод розрахувати коефіцієнт теплопровідності теоретично практично неможливо. У цих випадках необхідно використовувати і розробляти нові прилади та методики для його визначення і контролю. Звичайно, перш за все необхідно знати теоретичний вплив коефіцієнта теплопровідності на загальний процес теплообміну, який відбувається через теплообмінну поверхню між відпрацьованою парою і оборотною водою. Вивчення цього процесу є важливим чинником організації ефективної роботи конденсаторів парових турбін і всієї ТЕС, що сприяє зменшенню кількості шкідливих викидів, пов'язаних із спалюванням палива. Тобто, дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності теплоносіїв на ефективність роботи конденсаторів парових турбін і розробка приладів його визначення є важливою науково-технічною задачею.

Метою роботи є дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води на ефективність роботи конденсатора парової турбіни.

Методика проведення досліджень.

Установка для дослідження теплопровідності була створена на основі моделі безконвективного теплопереносу із постійного джерела теплоти у безмежно довгому циліндрі. Блок-схема установки для дослідження теплопровідності у воді показана на рис. 1. Кількість теплоти передається від теплообмінника до рідини, що знаходиться у теплоізолюваній силіконовій трубці діаметром 4 мм, і розподіляється в ній згідно закону теплопередачі Фур'є без конвекції. Датчики температури фіксують розподіл температури по трубці у автоматизованому (за допомогою ЕВМ) або ручному (за допомогою вольтметра) режимах. Теплоносієм у дослідженнях була дегазована дистильована вода, електропровідність якої не перевищувала $1 \mu\text{S}/\text{cm}$. Воду заливали у трубку, що знаходилась в теплоізоляційній оболонці

при температурі 17°C. Після контакту теплоносія з теплообмінником одночасно робили опитування всіх датчиків температури у автоматичному або ручному режимах. Датчики температури були розміщені на чотирьох відстанях (x) від теплообмінної поверхні: 4,5 мм, 9,0 мм, 14,5 мм, 25,5 мм. Велика довжина циліндричного теплоносія забезпечувала постійність температури протилежного кінця циліндра T_c . Таким чином відбувався режим теплопередачі в умовно безмежний циліндричний теплоносій. Постійність температури нагрівача T_0 забезпечувала режим теплопередачі із сталого (безмежного) джерела теплоти. Умовно безмежна довжина теплоносія забезпечувалась незмінністю T_c протягом усього експерименту. Таким чином, умови експерименту відповідали фізико-математичній моделі теплопровідності у безмежно довгому циліндричному теплоносії з постійного джерела теплоти. Кінетику зміни температури розглядали окремо для кожного датчика та для кожної із чотирьох вказаних вище відстаней від теплообмінної поверхні визначали коефіцієнт теплопровідності. Результуючий коефіцієнт теплопровідності розраховували як середнє із чотирьох значень.

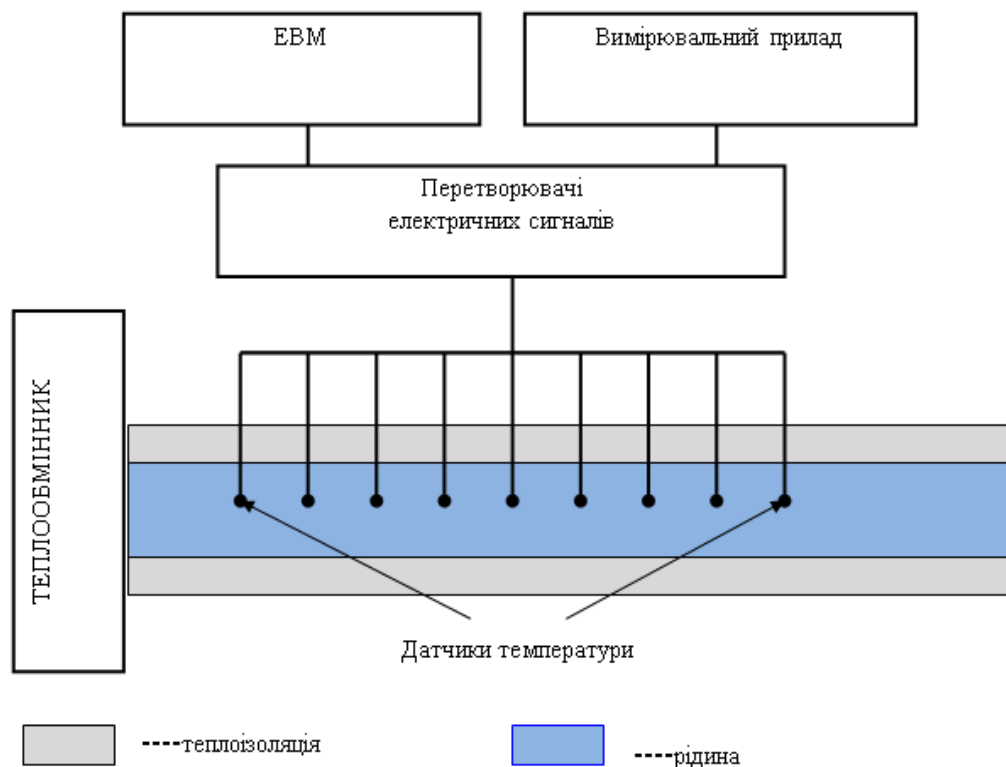


Рис. 1. Блок-схема установки для дослідження теплопередачі у рідинах.

Результати досліджень.

Коефіцієнт теплопровідності охолоджувальної води що обумовлює ефективність роботи конденсатора парової турбіни, залежить від температури відпрацьованої насиченої пари, яка визначається основним рівнянням роботи конденсатора парової турбіни [5]:

$$t_n = t_{вх} + \Delta t_v + \delta t, \quad (1)$$

де $t_{вх}$ – температура охолоджувальної води на вході у конденсатор, що власне і визначає ефективність роботи конденсатора; $\Delta t_v = t_{вих} - t_{вх}$ – нагрів охолоджувальної води у конденсаторі; $t_{вих}$ – температура охолоджувальної води на виході з конденсатора; δt – недогрів до температури насичення (температурний напір між відпрацьованою парою і охолоджувальною водою).

Недогрів охолоджувальної води в конденсаторі (δt) до температури насичення (t_n) визначається термічним опором між насиченою парою, що конденсується, та охолоджувальною водою розраховується за формулою [6]:

$$\delta t = \frac{\Delta t}{\exp\left(\frac{KF}{G_6 c_p}\right) - 1}, \quad (2)$$

де K - загальний коефіцієнт теплопередачі в конденсаторі; F - площа поверхні теплообміну конденсатора; G_6 - витрата охолоджувальної води через конденсатор; c_p - теплоємність води при постійному тиску.

У рівнянні (2) коефіцієнт теплопередачі K (Вт/(м²·К)), визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{nc}} + \frac{\delta_{зз}}{\lambda_{зз}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_{вз}}{\lambda_{вз}} + \frac{1}{\alpha_{св}}}. \quad (3)$$

де α_{nc} , $\alpha_{св}$ – коефіцієнти тепловіддачі пара – стінка та стінка - вода відповідно, Вт/(м²·К); $\delta_{зз}$, $\delta_{вз}$, δ_c , – товщина зовнішнього, внутрішнього шару забруднень та стінки теплообмінника відповідно, м; $\lambda_{зз}$, $\lambda_{вз}$, λ_c – коефіцієнти теплопровідності зовнішнього, внутрішнього шару забруднень та стінки теплообмінника відповідно, Вт/(м·К).

Тоді, з врахуванням, що коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до охолоджувальної води розраховують за рівнянням [7]

$$\alpha_{св} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{Re}_B^{0,8} \text{Pr}_B^{0,4} \frac{\lambda_B}{d_{вн}}, \quad (4)$$

де Pr_B - число Прандтля по водяній стороні теплообмінника (див. рис. 1), Re_B — число Рейнольдса по водяній стороні теплообмінника, яке визначається за формулою:

$$\text{Re} = \frac{W_B d_{вн}}{\nu_B}, \quad (5)$$

де W_B - середня швидкість течії охолоджувальної води в трубках конденсатора, м/с; $d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубок, м; ν_B - коефіцієнт кінематичної в'язкості води, м²/с; λ_B - коефіцієнт теплопровідності води, Вт/(м·К).

У рівняннях (2) - (5) значення теплофізичних величин приймаються за середнім значенням температур вхідної і вихідної охолоджувальної води. Із (2) – (5), для умови чистої поверхні теплообміну ($\delta_s = 0$), а також з врахуванням, що $\Delta t = 580 \cdot (D_n/G_B)$ [8], D_n - витрата пари, що надходить у конденсатор, температура насичення відпрацьованої пари t_n буде визначатись за формулою:

$$t_n = t_{вх} + 580 \cdot \frac{D_n}{G_B} \cdot \left\{ 1 + \exp \left[\frac{1}{\frac{1}{\alpha_{nc}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{4,86 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_B^{0,4} \cdot \lambda_B}{\nu_B^{0,8} \cdot \rho_B^{0,8}} \right) \cdot \left(\frac{G_B}{n \cdot d_B^{2,25}} \right)^{0,8}} \right]} \cdot \frac{F}{G_B \cdot c_p} - 1 \right] \right\}^{-1}. \quad (6)$$

Отримана формула (6) дозволяє визначити залежність t_n від коефіцієнта теплопередачі теплоносія (λ_B). Підставляючи у (6) для номінальних режимів роботи турбіни К-500-240-2 і конденсатора К-11520-2 значення теплофізичних величин, [4]: $\lambda_c = 130$ Вт/(м·К), $\text{Pr}_B = 6,889$, $\nu_B = 0,793 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\rho_B = 998,13$ кг/м³, $c_p = 4,185$ кДж/(кг·К); та технологічних величин [9, 10]: $F = 2,304 \cdot 10^4$ м², $D_n = 959,5$ т/год, $G_B = 51480$ м³/год, $n = 29500$, $\delta_c = 1,0$ мм, а також $\alpha_{nc} = 8816$ (м²·К)/Вт, $t_{вх} = 15,0^\circ\text{C}$ визначаємо залежність температури насиченої пари (t_n) від значення коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води (λ_B) та залежність відносної зміни температури насиченої пари ε_{t_n} від відносної зміни коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води ε_{λ_B} , що показані на рис. 1а і 1б відповідно. Із рис. 2 видно, що при зміні рідкого середовища в оборотних системах від чистих водних систем ($\lambda = 0.6$ Вт/(м·К)) до забруднених замазучених стоків, що підживлюють охолоджувальні води ($\lambda = 0.2$ Вт/(м·К)), температура насиченої пари може змінюватись на 50 % (рис.2 а). Із рис. 2 б також видно, що при зменшення λ_B на 8 – 11% t_n збільшиться на 1%, що також необхідно враховувати при контролі якості охолоджувальної води, особливо при її довгостроковому використанні.

Для визначення коефіцієнта теплопровідності, з врахуванням отриманих вище даних, використаємо основне рівняння теплопровідності однорідного стержня при відсутності внутрішніх теплових джерел і витоків, у вигляді [7]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (7)$$

де $a = \sqrt{\frac{\lambda_{\text{в}}}{c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}}}}$ - коефіцієнт температуропровідності.

Тоді, з врахуванням граничних і початкових умов розв'язок (7) буде такий [11]:

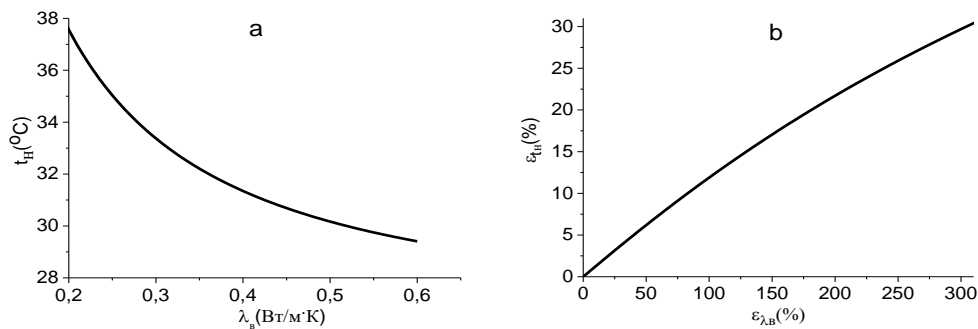


Рис. 2. Залежність температури насиченої пари (t_n) від значення коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води $\lambda_{\text{в}}$ (а) та залежність відносної зміни температури насиченої пари ε_{th} від відносної зміни коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води $\varepsilon_{\lambda_{\text{в}}}$ (б).

$$T(x, t) = T_0 \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \sqrt{\frac{\lambda_{\text{в}}}{c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}}} \cdot t}} \right) \right) + T_e \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \sqrt{\frac{\lambda_{\text{в}}}{c_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{в}}} \cdot t}} \right), \quad (8)$$

де $\operatorname{erf}(z)$ – інтеграл ймовірностей (функцією Лапласа) яка виражається рівнянням

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-t^2} dt. \quad (9)$$

За формулою (8), для кожної із чотирьох координат датчиків (x) знаходили значення коефіцієнта теплопровідності, при якому було найменше відхилення модельної кривої залежності температури від часу (рис.3 – суцільна лінія) від експериментальних значень. Експериментальні значення залежності температури від часу для кожного з датчиків показані на рис. 3 у вигляді точок.

Середнє значення коефіцієнта теплопровідності, пораховане за кінетичними кривими (рис. 3) становить 0,575 Вт/(м·К), що менше на 3,2% від табличного значення, рівного 0,594 Вт/(м·К) при 17°C [4]. Таку похибку можна рахувати систематичною. Окремі відхилення між експериментальними і розрахунковими значеннями (див. рис 4) мають випадковий характер і лежать у межах $\pm 1\%$. Таке невелике значення випадкової похибки дозволяє використовувати представлений спосіб для визначення коефіцієнта теплопровідності води.

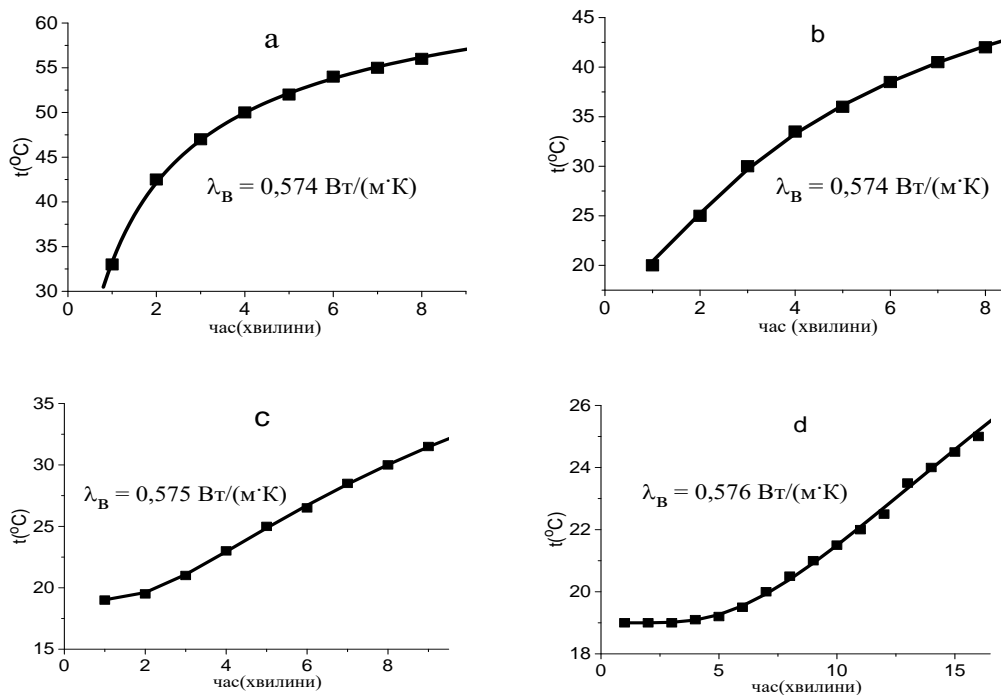


Рис. 3. Кінетика зміни температури води (t) при різних відстанях (x) датчика вимірювання температури від теплообмінної поверхні: **a** – 4,5 мм; **b** – 9,0 мм; **c** – 14,5 мм; **d** – 25,5 мм та значення коефіцієнтів теплопровідності (λ_B). Суцільна лінія – теоретичні значення, ■ – експериментальні значення

Тобто, контроль коефіцієнта теплопровідності охолоджувальної води є важливим елементом при розробці перспективних технологій роботи конденсаторних установок і

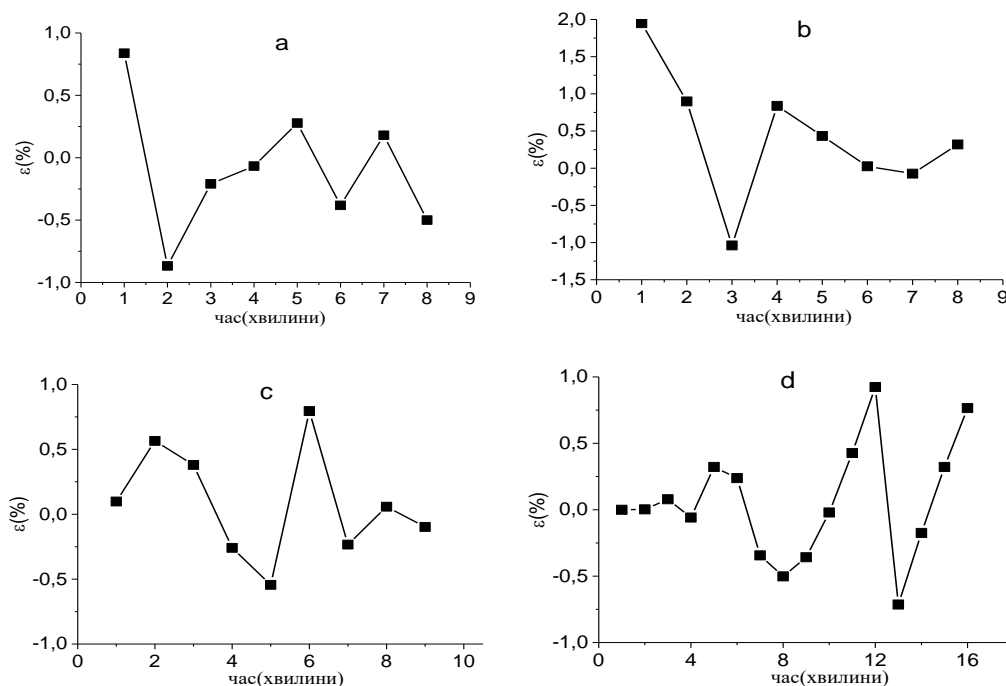


Рис. 4. Відносні похибки (ϵ) при різних відстанях теплообмінної поверхні від датчиків температури (x). **a** – 4,5 см; **b** – 9,0 см; **c** – 14,5 см; **d** – 25,5 см.

обумовлює необхідність створення нових приладів для контролю теплофізичних властивостей теплоносіїв оборотних систем охолодження.

Висновки

Проаналізовано основне рівняння роботи конденсатора парових турбін і встановлено, що зменшення коефіцієнта теплопровідності у межах 8 – 11% дає підвищення температури відпрацьованої пари і відповідно зменшення ефективності роботи конденсатора на 1%, що може бути суттєвим при довготривалому використанні неякісного теплоносія.

Запропоновано установку для досліджень процесу теплопередачі за допомогою якої можна вимірювати коефіцієнт теплопровідності рідини з систематичною похибкою, що становить -3,2% і випадковою похибкою $\pm 1\%$.

Інформаційні джерела

1. Промышленные теплообменные процессы и установки. /А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов и др.; под ред. А.М. Бакластова. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 327 с.
2. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 3) / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 608 с.
3. Бондар О.І., Гаєвський В.Р., Кочмарський В.З., Филипчук В.Л. Вплив ефективності роботи оборотних систем охолодження ТЕС на величину викидів діоксиду азоту. *Науково-практичний журнал "Екологічні науки"*. Випуск 6 (39). 2021. С. 7 - 11.
4. Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Москва: Энергия, 1980. 424 с.
5. Шкловер Г. Г., Мильман О. О. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 240 с.
6. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. Москва: Энергоиздат, 1981. 416 с.
7. Frank P. Incropera. Fundamentals of heat and mass transfer. / Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine — 6th ed. Hardcover, 2006. 1024 P.
8. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Москва: Энергия, 1977. 344 с.
9. Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И., Бродов Ю.М., Купцов В.К., Ларионов И.Д., Ниренштейн М.А., Плотников П.Н., Рябчиков А.Ю., Хаэт С.И. Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание. Екатеринбург: УрФУ, 2015.
10. Типовая энергетическая характеристика конденсатора К-11520-240-2. Технические характеристики 34-70-021-86. Москва: Союзтехэнерго, 1986. 15 с.
11. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. Москва: Наука, 1969. 288 с.

¹Gayevskii V.R., ¹Fylypchuk V.L., ²Gayevska S.G.

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

²Rivne Scientific Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Rivne, Ukraine

THE INFLUENCE OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF COOLING WATER ON THE OPERATION EFFICIENCY OF STEAM TURBINE CONDENSERS

When generating electricity in power plants, the efficiency of heat transfer depends on the quality of the coolant. At present, the physical and chemical parameters of the cooling water are controlled to determine its tendency to the processes of deposition of sparingly soluble salts or corrosion, but such an important thermophysical parameter as the thermal conductivity of recycled water is not controlled. Therefore, it is necessary to know the theoretical influence of the thermal conductivity coefficient on the heat exchange process in the steam turbine condenser and develop instruments and methods for its determination and control.

The paper makes a theoretical assessment of the effect of the thermal conductivity coefficient on the heat transfer process in the condenser of a steam turbine and shows that a decrease in the thermal conductivity coefficient within 8–11% gives an increase in the temperature of the exhaust steam and, accordingly, reduces the efficiency of the condenser by 1%. It is also proposed to develop an installation for determining the thermal conductivity of water and, based on the results of experimental studies, it is shown that using such an installation it is possible to determine the thermal conductivity of liquids with a systematic error of -3.2% and a random error of $\pm 1\%$.

Keywords: power plants, heat transfer, cooling water, thermal conductivity coefficient

УДК 615.823

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-04

Гевко О.В., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Дозорська О.Ф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ВІБРОМАСАЖНОЇ АПАРАТУРИ

В статті проведено структурний синтез на основі методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Проведено аналіз конструкцій та функціональних можливостей технічних засобів для проведення апаратного масажу, виділено конструктивні ознаки та елементи таких технічних засобів та сформовано морфологічну таблицю таких ознак. Отримано множини варіантів структурно-схемного синтезу вібромасажної апаратури та запропоновано варіанти конструкцій вібромасажних столів та матраців, що складаються із різноманітних компонентів. Так, основними елементами запропонованих і запатентованих конструкцій вібромасажних столів є різні типи масажних роликів, а конструкції вібромасажних матраців включають множини камер в яких розміщені електродвигуни із масажними навантажками. В конструкціях вібромасажних матраців запропоновано використання зміни тиску у верхній та нижній камерах з допомогою пневмокомпресора, що дозволяє забезпечити надійне прилягання масажних насадок до поверхні тіла пацієнта, регулювання сили та інтенсивності масажу, а можливість вибору відповідних програм забезпечує максимально необхідний вплив масажних процедур на різні ділянки тіла людини. Керування роботою основних елементів вібромасажної апаратури може здійснюватись з допомогою персонального комп'ютера або смартфона.

Ключові слова: масаж, вібрація, реабілітація, морфологічний аналіз

Постановка проблеми. Особливо важливим методом реабілітаційних заходів є масаж, який являє собою групу заходів механічної дозованої дії на окремі ділянки поверхні тіла людини або комплексно за допомогою рук чи спеціальних апаратів [1-4]. Позитивний ефект масажу проявляється у покращенні роботи всіх систем організму, підвищенні працездатності, відновленні сили, підвищенні еластичності м'язів та суглобів. За способом створення масаж може бути ручним, апаратним або комбінованим [1-4].

Проводиться масаж шляхом розтирання, тиску, вібрації або погладжування, та може діяти через повітряне, водне чи інше середовище, з метою досягнення лікувального ефекту [4]. За допомогою масажу сповільнюється утворення продуктів обміну речовин та накопичення їх в м'язах [4]. Масаж створює позитивний ефект при дії на м'язи, степінь їхнього кровопостачання, тонус, протидіє виникненню атрофій та пролежнів, завдяки інтенсифікації кровотоку в пошкоджених ділянках пришвидшує відновлення пошкоджених м'яких тканин.

Зазвичай масаж проводиться в спеціалізованих закладах масажистами відповідно до рекомендацій лікарів або за спеціальними методиками. Однак такий масаж є дороговартісним, що обмежує його доступність, особливо коли потрібною є значна кількість процедур масажу, а в окремих випадках проводити його класичним способом неможливо, зокрема у випадку пацієнтів з обмеженими руховими можливостями, травмами, опіками тощо, які можуть тривалий час перебувати в стані лежачи на спині. При цьому важливою є профілактика пролежнів. Тому пошук нових ефективних способів проведення масажу є актуальною задачею.

Аналіз стану досліджень. Альтернативою ручного масажу є так званий апаратний масаж, який виконується з допомогою спеціальних технічних засобів. На відміну від ручного масажу, при якому масажистом можуть проводитись такі прийоми, як погладжування, розтирання, розминання та вібрації, в технічних засобах для масажу зачасту реалізуються лише обмежені прийоми, наприклад вібрації в комплексі із прогріванням. Також технічні засоби мають обмеження щодо областей впливу. Поширеними сьогодні на ринку медичної техніки є два типи масажерів. Перший тип виконано у вигляді пояса з елементами створення ефекту масажу [5]. Другий тип включає масажери у вигляді накидок змінної форми, що можуть розміщуватись горизонтально поверх матраца для проведення масажу лежачи, або на кріслі у вигляді накидки [6-8], або у вигляді матраців, всередині яких розміщуються масажні елементи [9-11]. Можуть бути передбачені функції підігріву, регулювання сили впливу, частоти вібрацій тощо. Для прикладу, на рис. 1 наведено конструкцію масажного пояса та спосіб його

застосування відповідно до інструкцій [5]. В ньому задіяно лише 2 електродвигуни, що обмежує ділянки впливу та робить його непридатним для комплексного масажу тіла людини.

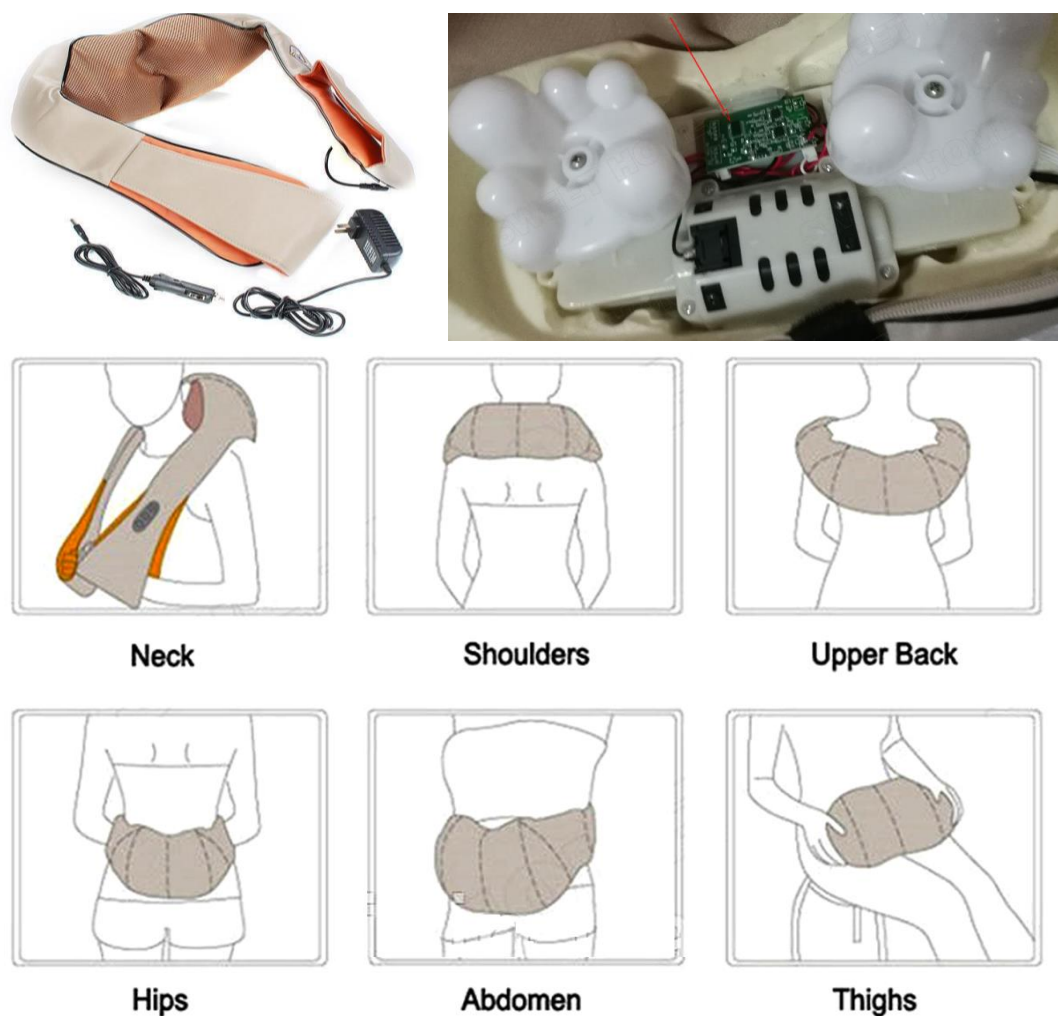


Рис. 1. Приклад конструкції масажного пояса та спосіб його застосування

Всередині типового масажера другої групи [6] розміщено 9 електродвигунів, є можливість регулювання частоти та інтенсивності вібрацій і обирати ділянки впливу (рис. 2).



Рис. 2. Електромасажер Klavsa у вигляді накидки

Основним недоліком розглянутих масажерів є обмежені функціональні можливості проведення комплексного масажу та особливо масажу в реабілітаційний період, оскільки недостатнє число електродвигунів з масажними насадками обмежує зони впливу, а інтенсивність масажу попри регулювання частоти та сили вібрацій, є прямо пропорційною до маси тіла пацієнта, з якою він буде тиснути на масажні насадки двигунів. Окрім цього, при викривленнях хребта практично неможливо забезпечити рівномірне прилягання усіх масажних насадок до поверхні тіла пацієнта. Останній недолік частково усунутий в масажері [9], який являє собою спеціальний масажний пояс-підкладку для поперека (рис. 3) із розміщеними всередині елементами для створення вібрацій в поєднанні із інфрачервоним прогріванням. В нижній частині пояса розміщена камера, в яку може нагнітатись повітря, тим самим забезпечуючи прилягання до поперекового вигину хребта верхньої частини пояса із вібруючими елементами. Такий масажер також має обмежені функціональні можливості.



Рис. 3. Спеціальний масажний пояс-підкладка для поперека

Також застосовуються сьогодні спеціалізовані секційні матраци для проведення комплексу протипролежневих заходів [9-13]. Для прикладу, секційний матрац з компресором OSD-QDC-500 [13] застосовується з метою профілактики та лікування пролежнів 1-3 ступеня, коли пацієнт тривалий час змушений перебувати у лежачому положенні (рис. 4). Змінний тип роботи компресора дозволяє накачувати секції матраца через одну, створює ефект масажу м'яких тканин, що сприяє підтримці оптимального рівня кровопостачання. Однак і такий тип масажерів має обмежені функціональні можливості, зокрема ділянки впливу, інерційність, висока вартість, складність керування та адаптації під потреби кожного окремого пацієнта.



Рис. 4. Секційний матрац з компресором OSD-QDC-500

Відповідно до проведеного аналізу встановлено, що розглянуті типи технічних засобів для проведення масажу мають обмежені функціональні можливості (локалізовані зони впливу, неможливість проведення комплексного масажу тіла пацієнта тощо) та непридатні для

застосування в реабілітаційний період пацієнтів із різного роду травмами чи захворюваннями опорно-рухового апарату або для профілактики пролежнів.

Мета роботи. Метою роботи є проведення синтезу технічного засобу для проведення масажу із можливістю впливу на поверхню тіла пацієнта локально у визначених місцях, комплексно по всій поверхні тіла та почергово в окремих ділянках в наперед заданих напрямках із можливістю регулювання сили впливу, інтенсивності тощо, для імітації проведення масажу руками масажиста.

Результати та їх обговорення. За основу використано переваги розглянутих масажерів, а сам проєктований технічний засіб виконано у вигляді матраца, всередині якого розміщено електродвигуни із спеціальними насадками, з допомогою яких і здійснюватиметься масажний вплив на тіло пацієнта. Такий технічний засіб названо вібромасажним матрацом. Однак, можливою є велика кількість комбінацій застосування окремих елементів розглянутих масажерів в структурі проєктованого вібромасажного матраца і важливим є питання оптимального вибору конструкції останнього, яка враховувала б переваги проаналізованих масажерів та компенсувала б їхні недоліки.

При проведенні структурно-схемного синтезу вібромасажних матраців використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу, який передбачає розбивку окремих груп на підгрупи, де кількість варіантів визначається по формулі [14]:

$$N = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня; q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивної ознаки елемента певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

Модель механічної системи «Вібромасажний матрац» представлено на рис. 5.

Зокрема до першої підгрупи першого ієрархічного рівня слід віднести конструктивні ознаки вібромасажних матраців 4 і 6 з табл. 1, до другої підгрупи першого ієрархічного рівня конструктивні ознаки 3, 10 і 11. До першої підгрупи другого ієрархічного рівня конструктивну ознаку 2, до другої підгрупи другого ієрархічного рівня конструктивну ознаку 7, до третьої підгрупи другого ієрархічного рівня конструктивну ознаку 8, до четвертої підгрупи другого ієрархічного рівня конструктивну ознаку 9. До першої підгрупи третього ієрархічного рівня конструктивну ознаку 1, а до другої підгрупи третього ієрархічного рівня конструктивну ознаку 5.

Таблиця 1

Морфологічна таблиця ознак конструктивних ознак та елементів вібромасажних матраців

Привід		Конструкція матраца						Керування процесом			
1. Вид приводу	2. Вид руху	3. Кількість елементів	4. Кількість камер	5. Жорсткість основи	6. Фіксація приводів	7. Місце фіксації приводів	8. Тип наповнювача	9. Спосіб керування	10. Кількість програм керування	11. Область визначеного впливу	
1.1. Електропривід; 1.2. Гідропривід; Пневмопривід.	1.3.	2.1. Безперервний; 2.2. Циклічний; 2.3. Різносторонній.	3.1. Один; 3.2. Два; 3.3. Декілька.	4.1. Безкамерний; 4.2. Однокамерний; 4.3. Двокамерний; 4.4. Багатокамерний.	5.1. Жорстка; 5.2. Гнучка; 5.3. Комбінована.	6.1. Жорстка; 6.2. Рухома з підпружиненням.	7.1. На жорсткій основі; 7.2. На еластичній основі; 7.3. В направляючих розміщених на основі; 7.4. Між окремими камерами.	8.1. Повітря; 8.2. Рідина; 8.3. Ортопедична піна; 8.4. Кокосова койра; 8.5. Латекс; 8.6. Лляне волокно; 8.7. Шерсть; 8.8. Пух; 8.9. Пінополіуретан; 8.10. Комбінований наповнювач.	9.1. Пульг керування; 9.2. Персональний комп'ютер; 9.3. Смартфон.	10.1. Одна; 10.2. Декілька.	12.1. Поздовжньо-осьова; 12.2. Поперечно-осьова; 12.3. Точкова.

Виходячи із зробленого розподілу загальна кількість згенерованих варіантів вібромасажних матраців при використанні методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме:

$$N_{\text{вм}} = \begin{array}{|c|} \hline 4.1 \\ 4.2 \\ 4.3 \\ 4.4 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 10.1 \\ 10.2 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 11.1 \\ 11.2 \\ 11.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 9.1 \\ 9.2 \\ 9.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ \hline \end{array} = 52.$$

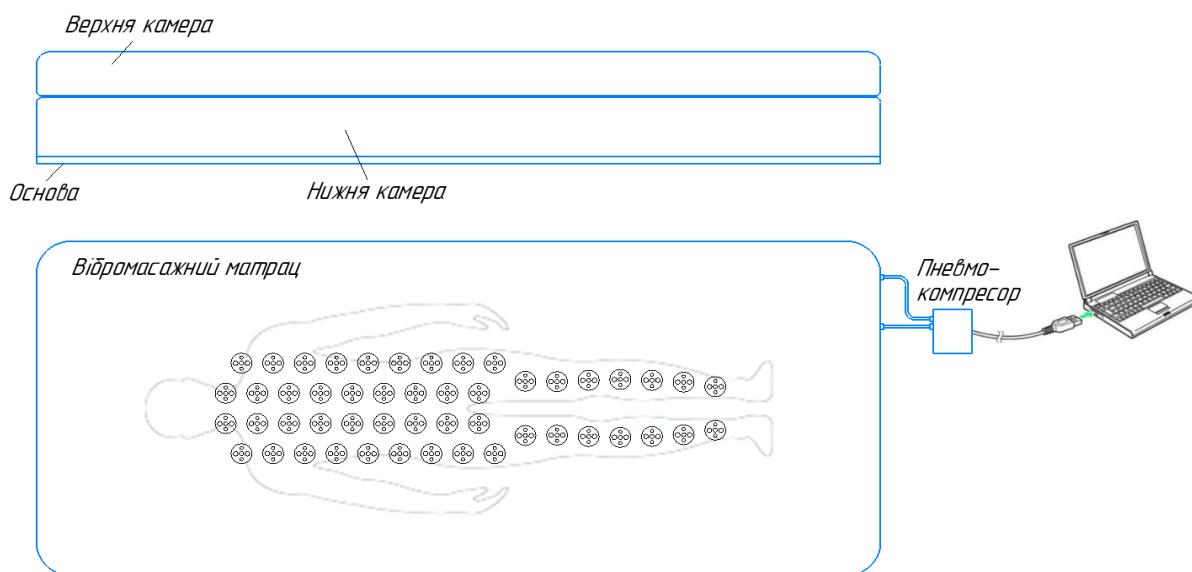


Рис. 6. Конструкція вібрамасажного матраца

Власне матрац виконано еластичним, який складається із верхньої та нижньої камер, котрі наповнюються повітрям з допомогою компресора. Між верхньою та нижньою камерами розміщується еластичний шар із більшою в порівнянні з матеріалом камер жорсткістю. До цього шару кріпляться електродвигуни із масажними насадками. Умовно на верхній стороні матраца нанесено контур пацієнта та ділянки розміщення електродвигунів із масажними насадками.

Залежно від значень тиску повітря у верхній та нижній камерах матраца можливими є три випадки:

1) Тиск повітря відсутній в нижній камері і частково присутній у верхній камері (рис. 7). При цьому поверхня верхньої камери матраца набуде форми тіла пацієнта, але не усі масажні насадки прилягатимуть до тіла пацієнта, зокрема в області поперека.

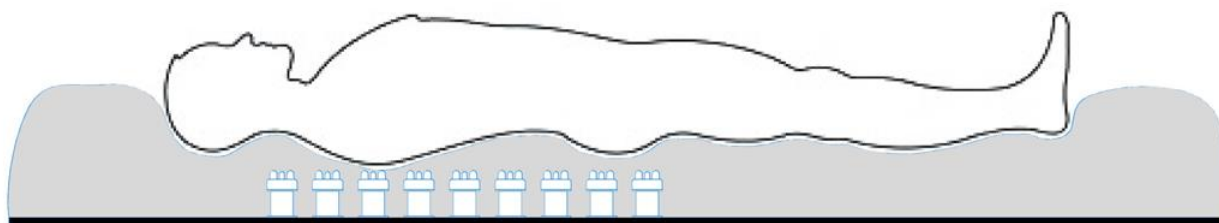


Рис. 7. Тиск повітря відсутній в нижній камері і частково присутній у верхній камері

2) Тиск повітря частково присутній в обох камерах, але в нижній камері він є вищим (рис. 8). При цьому, як і у першому випадку, поверхня верхньої камери набуде форми тіла пацієнта. Під дією ваги пацієнта відбудеться перерозподіл тиску повітря у верхній та нижній камерах і жорсткий еластичний шар між камерами також набуде форми тіла пацієнта. Це забезпечить надійне прилягання усіх масажних насадок до поверхні тіла пацієнта (і в місцях вигинів).

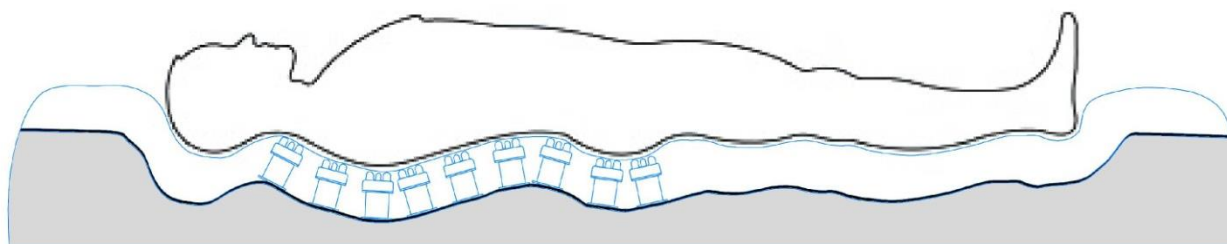


Рис. 8. Тиск повітря частково присутній в обох камерах, але в нижній камері він є

ВИЩИМ

Однак, пацієнт практично всією вагою свого тіла тиснутиме на усі масажні насадки. В пропонуваній конструкторській використано 50 електродвигунів з масажними насадками. Якщо вага пацієнта становитиме 80 кг, то вона рівномірно розподілиться на ці масажні насадки і становитиме 1,6 кг, що рівносильне тому, що одна насадка в процесі масажу тиснутиме на тіло пацієнта вагою в 1,6 кг. При невеликій площі впливу це викликати значні больові відчуття.

3) Тиск повітря присутній у верхній та нижній камерах матраца. Змінюючи тиск повітря в нижній камері можна забезпечити рівномірне прилягання усіх віброелементів до усіх ділянок тіла пацієнта, а змінюючи тиск повітря у верхній камері можливим стає регулювання тиску масажних насадок на тіло пацієнта та інтенсивність масажного впливу загалом (рис. 9).

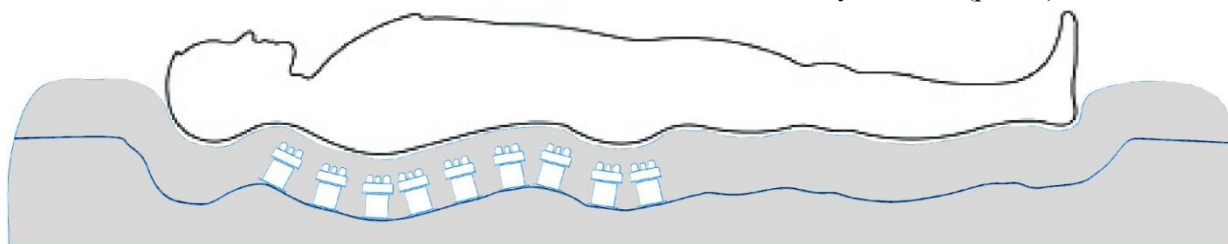


Рис. 9. Тиск повітря присутній у верхній та нижній камерах матраца

Оскільки в основі верхньої камери еластичного матраца закріплено 50 електродвигунів масажними насадками, то з допомогою персонального комп'ютера або смартфона можна задіювати всі або окремі електродвигуни для здійснення комплексного або локального вібромасажу окремих ділянок тіла людини, регулюючи, при цьому, інтенсивність та частоту створюваних ними вібрацій.

Також, якщо розмістити в основах електродвигунів давачі навантаження (наприклад тензорезистори), то можна визначати загальну вагу пацієнта, вибирати інтенсивність масажного впливу регулюванням співвідношення тисків повітря в нижній та верхній камерах і визначати розміри тіла пацієнта, не задіюючи ті електродвигуни, які не потрапляють під тіло пацієнта (тиск на них буде незначним).

Висновки. Проаналізовано методи проведення апаратного масажу та технічні засоби, що використовуються при цьому. Означено їхні переваги і недоліки, виділено основні конструктивні ознаки і елементи.

Шляхом застосування методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу проведено структурний синтез вібромасажного матраца. З множини можливих комбінацій елементів конструкції виділено та обґрунтовано структуру вібромасажної апаратури та запропоновано варіанти конструкцій вібромасажних столів та матраців, що складаються із різноманітних компонентів. Зокрема основними елементами запропонованих і запатентованих конструкцій вібромасажних столів є різні типи масажних роликів, а конструкції вібромасажних матраців включають множину камер в яких розміщені електродвигуни із масажними наважками. В конструкціях вібромасажних матраців запропоновано використання зміни тиску у верхній та нижній камерах з допомогою пневмокомпресора, що дозволяє забезпечити надійне прилягання масажних насадок до поверхні тіла пацієнта, регулювання сили та інтенсивності масажу. Підвищені функціональні можливості такого вібромасажного матраца очевидні, бо окрім регулювання інтенсивності та сили масажного впливу можливим є вибір і програми впливу. Наприклад, можна по чергово задіювати електродвигуни починаючи від поперека і рухаючись до області шії, або з середини матраца і рухаючись до його країв. Це створюватиме ефект, близький до класичного масажу руками. Також можна проводити масаж лише поперека, ніг, окремих ділянок поблизу хребра тощо. Використання такого матраца буде простим, зручним, не потребуватиме спеціальних навиків чи вмінь або кваліфікації масажиста. Попри значну кількість елементів конструкції використання матраца буде набагато дешевшим за послуги кваліфікованого масажиста.

Інформаційні джерела

1. <https://pidru4niki.com/10560412/meditsina/masazh>
2. Вакуленко Д.В. Лікувально-реабілітаційний масаж : навч. посіб. / Д.В. Вакуленко, Л.О. Вакуленко, О.В. Кутакова, Г.В. Прилуцька. – К. : ВСВ «Медицина», 2020. – 568 с.
3. Вакуленко Л.О. Лікувальний масаж / Л.О. Вакуленко, Л.О. Вакуленко, Г.В. Прилуцька, Д.В. Вакуленко. – Тернопіль: Укрмедкнига, 2005. – 448 с.
4. Штеренгерц А. Е. Массаж для взрослых и детей / А. Е. Штеренгерц, Н. А. Белая. – Київ: Здоров'я, 1992. – С. 3-378.
5. <https://tactik.in.ua/ua/p932448626-elektricheskij-massazher-dlya.html>
6. <https://tactik.in.ua/ua/p1052342533-massazhyor-elektricheskij-klasvsa.html>
7. <https://va-ko.com.ua/c1258574-massazhnye-kresla-zenet>
8. https://med-magazin.ua/cat_499.htm/massazhnye-nakidki/
9. https://med-magazin.ua/ua/item_n11930.htm
10. <https://welmax.com.ua/ru/catalog/massage/lower-back/product-0022/>
11. https://ortop.ua/yacheistyuy-matras-s-kompressorom-osd-f-103.html?utm_source=merchant&utm_medium
12. <https://www.zenet.ua/ua/massage-mattress-zenet-zet-778-ua>
13. <https://dopomoga.ua/protivoprolezhnyvi-sekcionnyi-matras-s-kompressorom-osd-qdc-500-39676>
14. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
15. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів]; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – К. : ТОВ «ЗМОК». – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

Hevko O.V., Dozorskyi V.G., Dediv L.Ye., Dediv I.Yu., Dozorska O.F.
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

STRUCTURAL SYNTHESIS OF VIBROMASSAGE EQUIPMENT

The structural synthesis based on the method of synthesis of hierarchical groups using morphological analysis made in the article. The analysis of the structures and functional possibilities of technical means for conducting hardware massage has been carried out, the design features and elements of such technical means have been identified, and a morphological table of such features has been formed. Many variants of structural-scheme synthesis of vibromassage equipment have been obtained. Variants of designs of vibromassage tables and mattresses, consisting of various components, are proposed. So, the main elements of the proposed and patented designs of vibratory massage tables are various types of massage rollers, and the designs of vibratory massage mattresses include many chambers in which electric motors with massage attachments are placed. In the designs of vibratory massage mattresses, it is proposed to use a change in pressure in the upper and lower chambers with the help of a pneumatic compressor, which makes it possible to ensure a reliable fit of the massage nozzles to the surface of the patient's body, and to adjust the strength and intensity of the massage. The ability to select appropriate programs provides the most necessary impact of massage procedures on different parts of the human body. The operation of the main elements of vibromassage equipment can be controlled using a personal computer or smartphone.

Key words: *massage, vibration, rehabilitation, morphological analysis*

УДК 658.512:658.52.011.56

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-05

Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Марчук І.В., к.т.н., доц., Шабайкович В.А., д.т.н., проф.
Луцький національний технічний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Аналіз сучасної зарубіжної та вітчизняної технічної літератури дозволяє з достатньою точністю спрогнозувати подальший розвиток комп'ютерно-інтегрованого складального приладобудівного виробництва. Головні тенденції розвитку приладобудівного виробництва, особливо СІМ впливають із глобалізації ринків збуту, змін в суспільній свідомості, постійно зростаючих вимог споживачів, скорочення циклів життя приладів, досягнень науки і техніки.

Умовно можна виділити основні напрямки розвитку сучасного приладобудування, особливо в СІМ: науково-теоретичний, конструкційний, технологічний, програмний, організаційний, експлуатаційний та інші з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій та організації.

Важливим напрямком повинно бути інноваційне доопрацювання конструкцій як приладів, так і технологічного обладнання, оснащення та організації приладобудівного виробництва на базі механізму підвищення його ефективності. Спочатку встановлюється потрібна та обґрунтована якість і конкурентоспроможність приладу, а далі розглядається їх забезпечення за рахунок технологічності, ефективності технології, обладнання та оснащення, його витратності виготовлення, організації виробництва, кваліфікації інженерів і робітників.

Ключові слова: *приладобудування, розвиток, напрямки, комп'ютерно-інтегроване виробництво, інновації.*

Складальне виробництво є завершальним етапом виготовлення приладів, в остаточному підсумку визначає їх якість, є найбільш працемістким, використовує найбільше робочої сили, автоматизоване незначно. Тому основна увага приділяється і буде приділятися забезпеченню їх високої якості з більш повним використанням засобів автоматизації, єдиної інформаційної системи обробки інформації при мінімально можливій технологічній собівартості, тобто забезпеченні високої конкурентоспроможності. Для цього потрібна розробка технічного, математичного, інформаційного, програмного та інших видів забезпечення, загалом, усіх необхідних атрибутів комп'ютерно-інтегрованого (СІМ – *Computer Integrated Manufacturing*) складального виробництва й систем СІМС (*Computer Integrated Manufacturing Systems*).

Таке складальне приладобудівне виробництво характеризується принципово новими інтегрованими технологіями, автоматичним конструкторським і технологічним проектуванням, використанням нових методів математичного моделювання, керування, організації, устаткування і іншими атрибутами. Нове складальне обладнання та оснащення повинно бути переналаджуваним з його серійним випуском. Загальна концепція СІМ поєднує ряд проблемно-орієнтованих систем CAD, CAM, CAE, CAP, SFS, PPS, CAQ, TQM, MRP, TPM, JIT, ATM, PRO-Engineer, UNIGRAPHICA, ADEM, ACAD, КОМПАС і багатьох інших. Уже зараз можна розрізнити майбутнє складальне виробництво СІМ. Проблемам СІМ присвячується усе більше число робіт [1], у яких аналізуються окремі питання. В [2] описані різні аспекти СІМ, а в [3] детально розглянуті, як сучасні складальні виробництва, так і можливі напрямки їхнього розвитку. Можна відзначити, що рішення питання багатогранне і знаходиться в конструкційній, технологічній і організаційній площинах. Загалом, описуються: розробки інтелектуальних систем проектування і керування технологічними об'єктами, інтенсифікація потенціалу за допомогою високих технологій, високоефективних методів виготовлення виробів, комбінованих високих технологій і їхніх гібридів, нейросіткових модулів, модульного та інтелектуального складання, застосування систем *Virtual Reality* і *Digital Prototyping*, інших мультимедійних систем і методів, різних засобів інтегрованих *CALS-технологій*.

Головні тенденції розвитку складального виробництва приладів СІМ впливають із глобалізації та локалізації ринків збуту, змін у суспільній свідомості, постійно зростаючих вимог споживачів, скорочень циклів життя виробів, досягнень науки і техніки.

Умовно можна виділити ряд основних напрямків розвитку автоматичного складання приладів у СІМ: науково-теоретичний, конструкційний, технологічний, програмний,

організаційний та експлуатаційний з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій. Передбачається розробка науково-технічних основ складання приладів, на базі яких буде здійснюватися автоматичне проектування конструкцій приладів і технологічного складального обладнання з оснащенням, орієнтованих на конкретне виготовлення й експлуатацію, особливо віртуальне, розробка нових програмних способів складання, систем нової організації і керування складанням, що базуються на концепціях логістики і нейронних мереж, методологічних аспектів експлуатації як приладів, так і складального обладнання. Усі проблеми гнучкого інтегрованого складання доцільно вирішувати в єдиному комплексі з іншими проблемами *CIM*.

В науково-теоретичному напрямку задача створення науково-технічних основ автоматичного складання приладів в *CIM* вважається основною, хоча таких основ поки ще немає. Науково-технічні основи складання приладів в *CIM* повинні охоплювати три основні частини: конструкційну, технологічну та експлуатаційну, у яких мають бути відображені теоретичні обґрунтування рішень зазначених практичних задач. В першу чергу це науково обґрунтована методологія комп'ютерно-інтегрованого складання. Можливі проблеми науково-теоретичному напрямку повинні забезпечувати наукову базу розвитку і інших напрямків. Такі основи повинні охоплювати повний ланцюжок виробництва: конструкція приладів – гнучкі високі технології, сучасні організації, експлуатація, економіка виробництва тощо.

При забезпеченні якості приладів чи послуг зараз чомусь головними вважаються системи якості створені на основі міжнародних стандартів серії *ISO 9000*. Ці розробки значно бюрократизовані, носять загальний описовий характер, вимагають збільшення чисельності чергових чиновників від якості, породили цілу громаду «розроблювачів» і тони паперових процедур, інструкцій, книг якості, політики якості і т.п. На жаль, сертифікати якості також мало чого дають його підвищенню, а процедура їхньої видачі часом зводиться до паперової бюрократичної тяганини. Споживачу потрібна якість, а не її сертифікат. Тому увага повинна бути зосереджена на розробці та дослідженні механізмів спрямованого формування показників якості, тобто практичного забезпечення, а не паперової документації. Як відомо, загалом, якість – це в першу чергу золота голова інженера та золоті руки робітника, а не системи чи їх сертифікати. Необхідно розрізняти також якість проектування виробів і технологій, функціонування гнучкої складальної системи і її окремих елементів, керування динамічною якістю складального обладнання та оснащення при їхньому проектуванні і т.п. Цікаві і перспективні питання інтелектуального керування процесами формування якості.

Вимагають розробки також проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності нечіткого середовища (метод максимуміплікативної згортки), методологічних аспектів моделювання, інформаційної підтримки керування, підвищення конкурентоспроможності виробів, синергетичного підходу до аналізу динамічних процесів у складальному обладнанні та оснащенні й спорядженні і т.п.

Конструкційний напрямок охоплює проблеми автоматичного проектування конструкцій приладів, складального обладнання та оснащення, починаючи від моделювання таких рішень і закінчуючи їхньою стандартизацією. Подальший і новий розвиток одержать розробки конструкційно-технологічних властивостей деталей і приладів, використовуваних при складанні, їхня формалізація та структуризація, точність приладів і автоматичних складальних систем, автоматичне складання і технологічність конструкцій в умовах гнучкого складання, удосконалення конструкцій, нові складальні з'єднання, конструкційне пристосування деталей, вузлів і приладів при програмній інтеграції. Наприклад, методологія автоматичного проектування приладів повинна бути чітко орієнтована на *CIM*. Одна з таких методик *DMA* передбачає широке використання проблемно-орієнтованих систем *QFD*, *DFM* і ряду інших. Інтегровані системи *CAD/CAM/CAE*, що підтримують *CALS-технології*, відрізняються різноманітністю, не стикованістю і охоплюють програмне забезпечення, починаючи від приладу концепції й конструкції, до одержання конструкторської документації та програм обробки деталей та їхнього складання. На жаль, такі програми для виконання навіть не автоматичного складання поки відсутні. У цьому плані повинна бути забезпечена повнота охоплення автоматичного проектування будь-яких конструкцій приладів, складального обладнання та оснащення та тісним взаємозв'язком з високими складальними технологіями, а головне - наступною експлуатацією. Не слід забувати і про значення передпроектних досліджень, що мають велике значення при створенні складних приладів, технологій та організацій.

Проблеми агрегування та модуляризації при автоматичному проектуванні різних конструкцій приладів зв'язані з їхнім формуванням добре відпрацьованими автономними й оптимізованими агрегатами і модулями, що мають широку переналагоджуваність. При такому підході створюються необхідні умови для їхнього серійного виробництва, тобто, наприклад, створення компонувань конструкцій складального обладнання та оснащення з готових модулів і агрегатів, які серійно випускаються. При цьому велике значення має можливість швидкого виготовлення моделей, зразків методом *Rapid Prototyping*. Уже сьогодні цей метод, що спочатку здійснювався стереолітографічним методом *SL*, доповнений новими методами *LOM*, *SLS*, *FDM*, *SQC*, *MJM*, котрі дають можливість скоротити процес виготовлення реальних зразків на 30% у порівнянні зі звичайними процесами. Вже зараз розширюється процес до одержання сталевих і чавунних деталей методами *Rapid Tooling*, *Rapid Prototyping Manufacturing*, у яких використовуються методи лазерної плавки і лазерно-синтеринговий. Належна увага буде приділена проектуванню виробів багатofункційного призначення, однаковості використовуваних складальних з'єднань, єдиній структурі конструкторсько-технологічної інформаційної бази, застосуванню методик типу *Virtual Reality* і *Digital Prototyping* і їхньому подальшому удосконаленню.

В технологічному напрямку прогнозується подальший розвиток і удосконалювання високих складальних технологій (*CALS*, *III*, *гібриди* й інші), концепції віртуального моделювання складальних процесів, нового покоління технологічного обладнання та оснащення, гнучкої складальної модульної технології, яка найбільше повно відповідає вимогам *CIM*. Першими прикладами технологічного обладнання можуть бути робототехнічні комплекси і складальні центри. Дуже важливе імітаційне моделювання структурних і параметричних характеристик складального обладнання в режимі реального часу. Передбачається розробка інтелектуальних складальних систем, що самонавчаються, ефективних методів і засобів адаптації, *CAD/CAM/CAE* - технологій у моделюванні складального обладнання та оснащення, нейросіткових моделей технологічних процесів складання, автоматизації генерування варіантних технологічних рішень і багато чого іншого. Оскільки система *CALS* побудована по модульному принципі, то буде потрібно подальше удосконалення її модулів, таких як концептуального проектування, конструювання та складання, *KE*-аналізу та оптимізації, технологічних модулів і інших. Одержать розвиток нові способи автоматичного складання приладів, окремі елементи гнучкої складальної операції (транспортування, базування, орієнтування, і т.п.), у тому числі виконання типових складальних з'єднань. Передбачається більш тісне ув'язування гнучких інтегрованих складальних процесів не тільки з конструкцією приладу, що складається, чи його експлуатацією, але і з використанням складальним обладнанням, системами керування, діагностики, обслуговування. Повинний бути налагоджений чіткий інформаційний обмін між окремими складальними системами. Це вже зараз досить велика проблема. Широке застосування методів стандартизації дозволить одержувати стандартні нормалізовані технологічні процеси гнучкого складання. Їхньому створенню перешкоджає розмаїтість конструкцій деталей і складальних з'єднань. Тому для цього необхідно збільшувати як число стандартних деталей у приладах, так і їхніх складальних з'єднань, а по можливості і вузлів. Тоді б прилад складався з модульних вузлів чи агрегатів, що випускаються серійно, і зовнішньої змінюваної форми, тобто корпусу.

У програмному напрямку головним і складним є подальша розробка програмного забезпечення гнучкого складання приладів в *CIM*. Важлива формалізація нечітко сформульованих даних з використанням математичного апарату, заснованого на нечітких множинах і лінгвістичних перемінних, інформаційного середовища моделювання в *CALS* з використанням *CASE-засобів*, інтелектуального керування гнучкою технологією на основі комбінованих нейросіткових і нечітких методів. До цієї проблеми відносяться також автоматичні системи програмного забезпечення, що складаються з програмних блоків, проектування складальних систем, технологічні процеси й обладнання, керування гнучким складанням (інтелектуальні, адаптивні, програмно-орієнтовані й інші). Одержать подальший розвиток комп'ютерне програмне забезпечення гнучкого складання приладів, а також нова мікропроцесорна складальна техніка. Необхідно подальше удосконалення трьох рівнів систем програмного забезпечення: об'єктно-орієнтованих, таких як функціональних, об'єктно-незалежних, тобто інваріантних, математичних, лінгвістичних, інформаційних, програмних, технічних, методологічних, організаційних і інших видів забезпечення. Для цього створюються сучасні інструментальні засоби компіляційного типу. При цьому велике значення має

реалізація принципів комплексності, системності, інформаційної єдності, сумісності й інваріантності. Одержать розвиток автоматичні системи програмного керування складальними системами, технологічними процесами й обладнанням (інтелектуальні, адаптивні, програмно-орієнтовані й інші). Заслугує на увагу використання *Internet-систем* у *WEB-інтегрованому* складальному виробництві. На основі *Internet* у середовищі *CALS-технологій* можна серед всього іншого забезпечити оптимальну апаратну комплектацію засобів автоматизації гнучкого складального виробництва.

Організаційний напрямок передбачає удосконалення відомих форм і розробку нової організації гнучкого складання в *CIM* і *CIMS*. У першу чергу це організація: робочих місць гнучкого складання, усіх видів автоматичного проектування, орієнтованих на безлюдне складальне виробництво та безпаперове представлення конструкцій та технологій. До цього відноситься також виконання процесів гнучкого складання в просторі і в часі, експлуатація принципово нового складального переналагоджуваного обладнання та оснащення, систем керування, у тому числі якістю, а також повне матеріально-технічне забезпечення. Особлива увага буде приділятися забезпеченню ефективності створення, нагромадження, обміну інформацією формалізованими даними у вигляді їхніх баз, організованих відповідно до вимог *CIM*. Подальший розвиток одержить організація робіт відповідно до системи *DSS (Decision Support System)*, що реалізує технологію *OLAP (On-Line Analytical Processing)* і забезпечує доступ до баз даних і видачу їх у зручній формі для аналізу. Буде розроблятися організація засобів інтелектуального аналізу даних типу систем оперативної аналітичної обробки (*OLAP*), інформаційних сховищ даних, гібридних систем планування гнучкого складального виробництва, систем керування персоналом *Personnel*, керування конкурентоспроможністю, як процесів цілеспрямованої адаптації потенціалу складального виробництва до специфіки ринку та інших вимог.

Оскільки організація та керування в гнучкому складальному виробництві впливає з реалізації суперечливих цілей: ринкової орієнтації (якість, швидкість виконання замовлень, розмаїтість) і ефективності, то увага буде приділятися маркетинговій концепції керування. Тому до тенденцій розвитку можна віднести: планування виробничих засобів (*MRP*), стратегію «точно в часі» (*JIT*) і її розвиток у напрямку «економної продукції» (*Lean production*) [4] і керування (*Lean Management*), концепцію керування вузькими місцями (*OPT*), системи «штовхання» - *push (MRP-II* і ін.), «висмоктування» - *pull (JIT* і ін.), «витискування» - *squeeze (OPT* і ін.). Ці системи передбачатимуть комп'ютерну координацію засобів і потреб на загальній інформаційній базі з багаторазовим узгодженням і повторенням. Тому важливими питаннями можна вважати організацію: внутрішнього і повного зовнішнього комп'ютерного інтегрування у складальному виробництві, використання організаційних мереж, що базуються на мінімальних організаційних одиницях і інформаційних технологіях, інтегрального логічного керування. Оскільки передбачається інтенсивна розробка науково-технічних основ гнучкого складання приладів в *CIM*, та належна увага буде приділятися також організації проведення необхідних наукових досліджень і обґрунтуванню техніко-економічної ефективності гнучкого складання, у тому числі особливо автоматизованим системам наукових досліджень.

Гнучке складальне виробництво зажадає підвищення підготовки інженерів-складальників. Відомий проект підготовки інженерів *5PR GEM* [5], що охоплює Австралію, Європу, Корею, США і Японію. Базується він на модульному плані навчання інженера (7 модулів), що включає як традиційні дисципліни, так і такі, як робота з моделюванням, цифровою технікою та технологією, віртуальним середовищем, плануванням циклу життя виробів, цифровим бізнесом ланцюжка навчання, бізнесовими операціями і стратегіями конкуренції, інтелектуальними процесами виготовлення, прийняттям рішень у інтерпредметних багатопланових колективах. Спочатку на базі такого проекту можна буде додати йому складальний комп'ютерно-інтегрований відтінок, а потім і розробити чисто складальний проект підготовки інженерів-складальників.

Експлуатаційний напрямок охоплює проблеми, що виникають при експлуатації істотно нового складального обладнання та оснащення, систем програмного керування, а також передбачуваної експлуатації складаних приладів з метою забезпечення зворотного зв'язку її результатів з конструкцією та технологією. Це в першу чергу проблеми технологічної складальної спадковості та створення єдиної формалізованої бази експлуатаційних даних по приладам і складальному обладнанні, необхідним для здійснення віртуального моделювання. Дуже важливими будуть методологічні аспекти експлуатації приладів, складального

обладнання та оснащення, систем керування та діагностування. Відзначаючи недостатнє формування єдиної інформаційної бази, важливим буде створення інформаційного середовища обміну даними між експлуатованим складальним обладнанням, системами керування та діагностування на основі *CALS-стандартів (ISO 10303 STEP, ISO 13584 P_LIB, ISO 15531 MANDATE і інші)*.

Висновки. Розвиток комп'ютерно-інтегрованого складального виробництва приладобудування передбачає інноваційні доопрацювання конструкцій приладів і технологічного складального обладнання та оснащення, технологічних складальних процесів і організації складального виробництва. На підставі виконаних багаторічних теоретичних і експериментальних досліджень автоматичного складання приладів представлений механізм підвищення ефективності такого складального виробництва. При цьому використані принципи обмеження різноманітності всіх елементів такого виробництва за окремими загальними напрямками: науково-теоретичному, конструкційному, технологічному, програмному, організаційному, експлуатаційному.

Основою підвищення ефективності автоматичного складання приладів, є розроблений механізм такого підвищення, котрий складається з низки етапів: моделювання конструкцій, технологій та організації автоматичного складання, формування віртуальних показників якості конструкцій, технологій та організації виробництва, організацію розробок автоматичного складання, забезпечення технологічності конструкції приладів, переналагодження та забезпечення точності, встановлення оптимальних структур процесу та переналагодження, типізацію та модуляризацію процесу автоматичного складання, переналагоджуваного обладнання та оснащення, інноваційну методику проектування автоматичного складального обладнання та оснащення та розробку нормативної документації автоматичного складання. Заслугує на увагу застосування методики *Reengineering* і рекомендації щодо підвищення якості та ефективності складального виробництва.

Можна припустити, що такі матеріали будуть використані в майбутньому для нових наукових узагальнень по важливим проблемам автоматизації складального виробництва, таких як обмеження різноманітності різновидів приладів, технологій, складального обладнання та оснащення та інших. Тому представлені розробки вимагають подальших теоретичних і експериментальних досліджень цілого ланцюжка складального виробництва приладів, що дозволить в майбутньому вирішити одну з найважливіших проблем сучасного автоматичного складання – забезпечення високої ефективності при високій якості приладів і мінімальних витратах їх виготовлення.

Інформаційні джерела

1. Матвійчук І.О. Сучасний стан та перспективи розвитку приладобудування в Україні: Вісник МНУ ім. В.О. Сухомлинського Миколаїв, 2015. – 360-366 с.
2. Вумек Джеймс П., Джонс Даниель. Бережливое производство. – М: Альпина Паблішер. 2011. – 312 с.
3. Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды конгресса в 2-х т.т./ 1У международный конгресс. – М.: Издательство “Станкин“, 2000. –С. 328, С. 308: ил.
4. *CALS* в авиастроении / Под ред. А.Г.Братухина. – М.; Изд-во *МАИ*, 2000. – 304 с.
5. Пасічник В. А. Основи комп'ютерно-інтегрованого механоскладального виробництва Дис. докт. техн. наук: 05.02.08. – К.:НТУУ «КПІ», 2009. – 412 с.

N. Grigoryeva, DSc, PhD., prof., I. Marchuk, Ph.D., V. Shabaykovich, DSc, PhD., prof.
Lutsk National Technical University

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF COMPUTER-INTEGRATED ASSEMBLY INSTRUMENT MANUFACTURING

The analysis of modern foreign and domestic technical literature allows to predict with sufficient accuracy the further development of computer-integrated assembly instrument-making production. The main trends in the development of instrument-making production, especially SIM, stem from the globalization of markets, changes in public consciousness, ever-increasing consumer demands, shortening the life cycles of devices, advances in science and technology.

It is possible to conditionally allocate the basic directions of development of modern instrument making, especially in SIM: scientific-theoretical, design, technological, software, organizational, operational and others using concept of multidimensional computer integration based on integrated network and intelligent technologies and organizations

An important direction should be the innovative refinement of the structures of both devices and technological equipment, equipment and organization of instrument-making production on the basis of a mechanism to increase its efficiency. First, the required and reasonable quality and competitiveness of the device is established, and then their provision is considered due to manufacturability, efficiency of technology, equipment and facilities, its cost of production, organization of production, qualification of engineers and workers.

Key words: *development, directions, computer-integrated production, integration, innovations.*

УДК 633.357.5

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-06

Дубчак Наталія Андріївна, Кирик Олег Михайлович*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»
вул. Академічна, 20, Бережани, Україна*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТІВ

Анотація. *Викопування та очищення коренеплодів від домішок залежить не тільки від конструкції та параметрів робочих органів коренезбиральної машини, але й від агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів у період їх збирання. Ефективність зрізування гички, викопування та очищення коренеплодів від домішок залежить не тільки від конструкції та параметрів робочих органів коренезбиральної машини, але й від агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів у період їх збирання. Вибір конструкції робочих органів і налаштування параметрів і режимів роботи модуля для зрізування гички, викопувальних і очисних модулів самохідних коренезбиральних комбайнів регламентовані розмірними параметрами та формою коренеплодів і фізико-механічним станом навколоплідного ґрунтового середовища. Наведено результати експериментальних досліджень маси та товщини шару налиплого ґрунту на поверхні тіла викопаних коренеплодів залежно від їх розмірних характеристик і фізичного стану ґрунту. Встановлено, що маса налиплого ґрунту змінюється в межах від 10...220 г для кормових буряків, 35...290 г для цукрових буряків, до 90 г для столових буряків.*

Ключові слова: *кормові, цукрові, буряки; коренеплоди цикорію; маса налиплого ґрунту; товщина шару ґрунту; вологість ґрунту, технологічний процес сепарації коренеплодів КОС, ворох коренеплодів кормових буряків.*

Постановка проблеми. Сталий розвиток агропромислового комплексу України не можливий без розробки нових прогресивних підходів до створення ефективних технічних засобів збирання сільськогосподарських культур.

Основним фактором занепаду показників галузі тваринництва в Україні є значне зниження виробництва та зменшення обсягів вживання кормових буряків, які є цінною кормовою культурою [1, 2].

Збільшення виробництва кормових буряків стримується низьким рівнем механізації основних технологічних процесів, а особливо процесу збирання [3], на яке припадає близько половини всіх витрат праці [4].

Існуючі принципово-функціональні схеми транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин (ТТС КМ) не повною мірою відповідають сучасним вимогам щодо показників якості очищення коренеплодів від рослинних і ґрунтових домішок у зв'язку з існуючими недоліками [5, 6].

Одним із резервів підвищення показників якості роботи КМ є поліпшення технологічного процесу очищення вороху коренеплодів шляхом інтенсифікації процесу відокремлення ґрунту та рослинних домішок від коренеплодів з застосуванням комбінованої очисної системи (КОС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метою роботи є підвищення показників якості роботи КМ шляхом розробки конструкції та вибору раціональних параметрів КОС. Теоретичні дослідження базувалися на механіко-математичному моделюванні технологічного процесу сепарації з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів та математичної статистики. Експериментальні дослідження проводилися згідно методики математичного планування і проведення

багатофакторних експериментів. **Виклад основного матеріалу.** Лабораторна установка для дослідження ступеня пошкодження коренеплідів (рис. 1.,2.) знаходиться в горизонтальній площині, розташованій на осі обертання шнека.

У момент проходження коренеплодом нижньої точки M , при відхиленні маятника копра від вертикалі на фіксований кут відхилення γ , відбувається удар (контакт) коренеплоду з поверхнею витка шнека, який обертається назустріч руху коренеплоду з частотою обертання

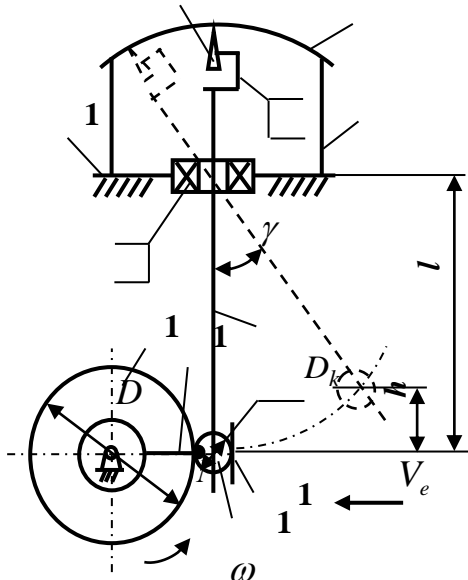


Рис. 1. Схема лабораторної установки: 1 – кронштейн; 2 – опора; 3 – сферичний підшипник; 4, 5 – нижня та верхня осі; 6 – корпус; 7 – олівець; 8 – півкульова поверхня; 9 – стояк; 10 – екран; 11 – коренеплід; 12 – шнек; 13 – виток шнека

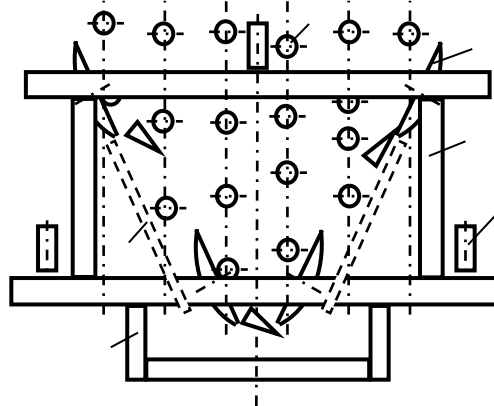


Рис. 2. Конструктивна схема польової установки:
1 – рама; 2 – опорні колеса;
3 – сферичний диск;
4 – полоз; 5 – сниця

n . Внаслідок зіткнення (удару) коренеплід відхиляється від шнека з сумарною швидкістю співудару V_{ck} , при цьому олівець пише на внутрішній частині півкульової поверхні лінію. Її довжина і напрямок залежать від кута γ відхилення осі маятника копра від вертикалі (початкової швидкості співудару V_e коренеплоду з шнеком, або швидкості подавального транспортера 1, маси коренеплоду m_k , виду поверхні співудару (металічна поверхня) та параметрів шнека. На позначені маркером площі налиплого ґрунту бічної поверхні тіла коренеплідів накладали прозорий папір, поверхню якого було графічно поділено на квадрати площею $0,25 \text{ см}^2$ кожний. Підрахунок сумарної площі з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла коренеплідів проводили шляхом множення загальної кількості квадратів на площу одного квадрата, тобто

$$\sum S_{\rho} = S_1 \sum_{i=1}^n N_{S_{1i}} = 0,25 \sum_{i=1}^n N_{S_1}, \quad (1.1)$$

де $\sum S_{\rho}$ – сумарна площа з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла коренеплоду, см^2 ;

$S_1 = 0,25 \text{ см}^2$ – площа одного графічного квадрата;

$\sum_{i=1}^n N_{S_1}$ – загальна кількість квадратів, шт.

Діаметр головки D_k , висоту розташування коренеплідів над поверхнею ґрунту H_n та загальну довжину коренеплідів L_k вимірювали штангенциркулем, при цьому загальну довжину коренеплоду вимірювали до його хвостової частини діаметром $1,5 \text{ см}$, а глибину

залягання коренеплоду в ґрунті H_ρ визначали як різницю загальної довжини і висоти розташування коренеплодів над поверхнею ґрунту.

Загальну площу підземної бічної поверхні тіла коренеплоду $\sum S_{k.n}$, розташованого у ґрунті на глибині залягання, визначали за відомою формулою, визначивши перед цим штангенциркулем діаметр коренеплоду d_k на рівні поверхні ґрунту (по лінії маркера).

Масу коренеплоду визначали зважуванням на вагах з точністю до 0,1 кг.

У першому випадку поправочний коефіцієнт λ_{1S} визначали як відношення сумарної площі з налиплим ґрунтом на бічній поверхні тіла до загальної площі підземної бічної поверхні тіла коренеплоду, тобто

$$\lambda_{1S} = \sum S_\rho / \sum S_{k.n}, \quad (1.2)$$

де $\sum S_{k.n}$ – загальна площа підземної бічної поверхні тіла коренеплоду, см².

З усього напрацьованого експериментального масиву даних утворювали вибірку даних одного конкретного значення загальної довжини та глибини залягання коренеплодів у ґрунті.

При експериментальному дослідженні поправочного коефіцієнта λ_S використовували вибірку великого об'єму, тобто кількість вимірів параметра оптимізації була більше 50 [143].

Для отримання регресійної моделі параметрів оптимізації, вибирали відповідний умовний план багатofакторного експерименту, реалізацію якого проводили у наступній послідовності.

Незалежними змінними факторами приймали: коефіцієнт пропорційності відношення глибини залягання коренеплоду у ґрунті k_ρ , який кодували індексом x_1 і загальну довжину коренеплоду L_k , який кодували індексом x_2 .

Двофакторний експеримент провели на трьох рівнях варіювання змінними факторами, тобто реалізували експеримент типу ПФЕ 3².

Нульовий рівень, або середнє значення кожного вхідного фактора, визначали за формулою [144, 145]:

$$x_0 = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \quad (1.3)$$

де x_0 – числове значення нульового рівня вхідного фактора;

x_{max} – числове значення верхнього рівня вхідного фактора;

x_{min} – числове значення нижнього рівня вхідного фактора.

Визначали інтервали варіювання факторами [144, 145]:

$$\Delta x_i = \frac{x_{max} - x_{min}}{2} \quad (1.4)$$

де Δx_i – числове значення інтервалу варіювання i -го фактора.

Результати кодування змінних факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання ПФЕ 3²

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Натур.	Код.				
Коефіцієнт пропорційності, k_ρ	X_1	x_1	0,1	0,5/-1	0,6/0	0,7/+1
Загальна довжина коренеплоду, L_k , см	X_2	x_2	5,0	15,0/-1	20,0/0	25,0/+1

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i значеннями змінних факторів встановлювали за залежністю [147]:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (1.5)$$

де x_{i0} – числове значення i -го фактору на нульовому рівні;

x_i – натуральне позначення i -го фактору.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням загальновідомих методик кореляційного і регресійного аналізу експериментальних даних для отримання у кінцевому результаті емпіричних рівнянь регресії [148, 149], які характеризують закономірність зміни маси налиплиго ґрунту m_{1ap}^e на бічній поверхні тіла кормових буряків від їх розмірних характеристик.

Перевірку відтворюваності дослідів, вибраної апроксимуючої математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ при однаковому числі повторюваності кожного досліду (точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3²), проводили за критерієм Кохрена [144, 147]:

$$G_P = \frac{D_{Y_{max}}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}}, \quad (1.6)$$

де G_P – розрахункове значення критерію Кохрена;

$D_{Y_{max}}$ – числове значення максимальної дисперсії в u -й точці;

D_{YU} – дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів в u -му досліді;

N – загальна кількість дослідів.

Дисперсію відтворюваності апроксимуючої математичної моделі визначали за формулою [144, 147]:

$$D_{YU} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^N (Y_{Uj} - \bar{Y}_U)^2; \quad (1.7)$$

$$\bar{Y}_U = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_{Uj}, \quad (1.8)$$

де \bar{Y}_U – середньоарифметичне значення відгуку u -го досліду;

Y_{Uj} – числове значення j -го відгуку u -го досліду;

m – число повторності дослідів;

N – число дослідів в плані однієї повторності;

$m-1$ – число ступеня вільності;

$j = 1, 2, \dots, m$;

Знайдені розрахункові значення критерію Кохрена порівнювали з табличним [65], при цьому табличне значення критерію Кохрена G_T визначали за заданим рівнем значимості α і двома степенями відповідності $f_{ag} = N - g$ та $f_y = N(m - 1)$ [144, 147].

Умову адекватності вибраної математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ перевіряли згідно з нерівністю

$$G_P < G_T. \quad (1.9)$$

$$D_{\bar{Y}0} = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^N D_{YU}, \quad (1.10)$$

де $n = mN$ – загальне число вимірів в плані при трьох повторностях.

Коефіцієнти апроксимуючої математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$, при умові ортогональності і симетрії композиційного плану ПФЕЗ², визначали за відповідними загальними формулами [149]:

- вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактора

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad (1.11)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ij} і b_{ijk}

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (1.12)$$

де x_{iu} – значення кодованої змінної у відповідному стовпчику плану експерименту;

\bar{y}_u – середній результат u -го дослідження;

u – порядковий номер дослідження;

i – номер фактора;

j, k – номер фактора, відмінного від i -го.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії b_i апроксимуючої математичної моделі $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ проводили за t -критерієм Ст'юдента та визначали у такій послідовності [144, 147]:

- визначали умову значимості коефіцієнтів b_i рівняння регресії

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nm}}, \quad (1.13)$$

де t_T – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності f_y та рівня значимості α [144, 147];

S_y – похибка відтворення,

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2; \quad (1.14)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2. \quad (1.15)$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2}. \quad (1.16)$$

За результатами розрахунків будували залежності поверхонь відгуку зміни маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла викопаних коренеплодів як функції $m_{1ap}^e = f(x_1; x_2)$ та двомірний переріз поверхонь відгуку для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки і аналізу результатів експериментальних досліджень для ПК "Statistica" та "MathCad".

Аналіз випадковості процесу оцінювали за стандартними методиками, при цьому визначали математичне сподівання M , дисперсію випадкової величини D та коефіцієнт варіації V [144, 147].

Висновки

Вперше вирішено наукове завдання підвищення показників якості роботи КМ шляхом розробки і обґрунтування параметрів КОС. Підвищення показників якості роботи КМ досягнуто за рахунок інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів робочими органами КОС із її обґрунтованими раціональними параметрами. Під час аналізу уточнення маси налиплого ґрунту на бічній поверхні тіла коренеплодів встановлено, що максимальні значення маси ґрунту на коренеплодах конічної та циліндричної форми ймовірно знаходяться у межах 80...125 та 480...500 г. Із врахуванням поправочного коефіцієнта λ_S ці значення будуть значно меншими. У процесі аналізу співудару коренеплоду з витком шнека встановлено, що значення коефіцієнта технологічної взаємодії $K_T \geq 1,0$ забезпечується при діаметрі шнека 0,5...0,8 м, його частоти обертання 65,0...115,0 об/хв і значенні кута підйому гвинтової лінії 35° . Якщо кут підйому гвинтової лінії більший 45° , відбувається інтенсивне зменшення коефіцієнта ($K_T \ll 1,0$), що призводить до значного збільшення сумарної швидкості удару коренеплодів, або підвищення їх пошкоджень. У процесі аналізу руху коренеплоду після його взаємодії з витком шнека встановлено, що умова забезпечення мінімальних пошкоджень коренеплодів, або напрямком вектора сумарної швидкості співудару співпадає з напрямком осьового переміщення витків шнека, функціонально виконується при значеннях діаметра шнека 0,5; 0,6 і 0,7 м та відповідної частоти обертання шнека 90, 70 і 60 об/хв.

Інформаційні джерела

1. Барановський В. М., Соломка В. О., Онищенко В. Б. Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра. *Вісник ХДТУСГ*. 2001. Т. 8(2). С. 209–215.
2. Барановський, В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральних машин. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 73(1). С. 249–255.
3. Барановський В. М., Паньків М. Р., Дубчак Н. А. Очисна система вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2007. № 1(59). С. 33–36.
4. Барановський В. М., Дубчак Н. А., Онищенко В. Б., Паньків М. Р. Математичні моделі маси налиплого ґрунту на коренеплодах кормових буряків. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2008. № 12(2). С. 314–326.
5. Барановський В. М. Результати теоретично-експериментальних досліджень секундної подачі вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2008. № 1. С. 111–120.
6. Барановський В. М. Транспортно-технологічні системи очисних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини. *Сільськогосподарські машини*. 2013. Вип. 24. С. 18–29.
7. Барановський В. М., Паньків М. Р., Теслиук В. В., Онищенко В. Б. Результати експериментальних досліджень коефіцієнта проходження коренеплодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 58–69.
8. В. Барановський, М. Паньків, М. Підгурський. Технологічні аспекти розробки модулів транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 65–76.

N. Dubchak, O. Kirik

Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Brzezany Agrotechnical Institute" street Akademichna, 20, Berezhan, Ukraine

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ROOT HARVESTING MACHINE AND METHODS OF ANALYSIS OF RESULTS

Abstract. Digging and cleaning of root crops from impurities depends not only on the design and parameters of the working bodies of the root harvesting machine, but also on the agrobiological and physical and mechanical characteristics of root crops during their harvest.

The efficiency of pruning, digging and cleaning of root crops from impurities depends not only on the design and parameters of the working organs of the root harvesting machine, but also on the agrobiological and physico-mechanical characteristics of roots during harvesting. The choice of design of working bodies and adjustment of parameters and modes of operation of the module for cutting the buds, digging and cleaning modules of self-propelled root harvesters are regulated by dimensional parameters and shape of roots and physical and mechanical condition of amniotic soil. The results of experimental studies of the mass and thickness of the layer of sticky soil on the body surface of excavated roots depending on their dimensional characteristics and physical condition of the soil are presented. It is established that the mass of sticky soil varies from 10... 220 g for fodder beets, 35... 290 g for sugar beets, to 90 g for table beets.

Key words: *fodder, sugar, beets; chicory roots; mass of sticky soil; the thickness of the soil layer; soil moisture, technological process of separation of KOS root crops, heap of fodder beet roots*

УДК 531.7:62-2:629.7 (043.3)

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-07

Катаєва М.О., Квашук Д. М.

Національний авіаційний університет

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ШВИДКОДІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті визначено перспективні напрямки в метрологічному забезпеченні проведення вимірювань у нанометровому діапазоні. Визначено, що для вимірювання механічних властивостей наноструктурованих матеріалів з прив'язкою до рельєфу поверхні найбільш поширеними у застосуванні є вимірювальні комплекси, що поєднують у собі можливості скануючих зондових мікроскопів та нанотвердомірів. Тому актуальною постає задача підвищення точності та швидкодії розпізнавальної системи зондового вимірювального комплексу за рахунок оптимального вибору кількості і розміщення вимірювальних точок на поверхні нанооб'єкта та точок відліку для математичного опису топологічних та фізичних характеристик поверхні. Доведено, що однією з основних проблем, які виникають у процесі вимірювання нанооб'єктів за допомогою зондового вимірювального комплексу є негативний вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, які можуть бути причиною спотворення вимірювальної інформації та отримання недостовірного зображення рельєфу нанооб'єкта. Оскільки всі дестабілізуючі фактори та викликані ними похибки завчасно невідомі і випадковим чином змінюються у часі, можна стверджувати, що ми маємо справу з цілим рядом випадкових функцій часу. На основі проведеного дослідження, розроблено метод оптимального вибору кількості вимірювальних точок для математичного опису випадкового процесу та доведено, що запропонований метод сприяє значному підвищенню точності та швидкодії розпізнавальної системи зондових вимірювальних комплексів при проведенні метрологічних робіт в нанометровому діапазоні.

Ключові слова: нановимірювання, дестабілізуючі фактори, випадкові процеси, зондові вимірювальні комплекси, швидкодія вимірювального процесу.

Вступ. В наш час метрологічні вимірювання, пов'язані з визначенням кількісних та якісних характеристик твердих поверхонь в нанометровому діапазоні виходять на прогресивно новий рівень у багатьох високотехнологічних галузях. Для вирішення подібних завдань найчастіше використовуються зондові мікроскопи, а також нанотвердоміри. В даний час активно розвиваються вимірювальні комплекси, що поєднують у собі можливості цих двох засобів вимірювання, що дозволяє визначати фізичні властивості нанооб'єктів з прив'язкою до рельєфу поверхні. Особливої актуальності ці вимірювання набувають при роботі з багатофазними наноструктурованими матеріалами. Тому задача розробки нових та удосконалення існуючих засобів вимірювання топологічних та фізичних особливостей нанооб'єктів за допомогою зондових пристроїв є важливою та актуальною.

Постановка проблеми. Точність та прецизійність вимірювань за рахунок зондових пристроїв зазвичай залежить від кількості вимірювальних точок, за якими математичними або програмними засобами будується поверхня нанооб'єкта. Але проведення таких вимірювань вимагають значних витрат часу на отримання та обробку вимірювальної інформації. Окрім того, на вимірювальний засіб та об'єкт постійно чинять вплив зовнішні дестабілізуючі фактори, такі як вібрації, перепади живлення, зміна теплових режимів тощо. Для виключення випадкових похибок, спричинених впливом цих факторів, необхідне збільшення кількості вимірювальних операцій, що негативним чином відображається на швидкодії вимірювального процесу. Для знаходження оптимального балансу між точністю та швидкістю розпізнавання характеристик поверхні нанооб'єкта комп'ютерними засобами та їх математичного опису, необхідно розрахувати оптимальну кількість вимірювальних точок у межах сегмента із заданою фрактальною розмірністю. Особового гостро ця задача постає для вимірювального процесу із одночасним дослідженням кількох характеристик поверхні нанооб'єкта.

Аналіз останніх досліджень. Оскільки дестабілізуючі фактори та викликані ними похибки завчасно невідомі і випадковим чином змінюються у часі, багато вітчизняних та закордонних вчених [1-5] схиляються до твердження, що ми маємо справу з цілим рядом випадкових функцій часу. Найчастіше [3, 5-7] задачу необхідного розрахунку обсягу точок вимірювання вирішують методом статистичного синтезу вимірювань, який полягає в

максимізації або мінімізації статистичних критеріїв точності вимірювальних параметрів при заданих обмеженнях вимірювальної системи та зовнішніх дестабілізуючих факторів. На основі аналітичного огляду [4, 6-7], можна виділити два основних варіанти постановки задачі оптимізації кількості точок вимірювання:

- мінімізація ймовірностей помилок розпізнавання характеристик поверхні нанооб'єкта при заданій кількості точок та встановленій фрактальній розмірності;
- мінімізація сумарної кількості вимірювальних точок, необхідних для забезпечення достатнього рівня достовірності розпізнавання при заданій мінімальній фрактальній розмірності.

У виробничих умовах більш ефективним є другий варіант постановки задачі синтезу, оскільки від системи розпізнавання в першу чергу потрібно забезпечення гарантованого стабільного рівня достовірності розпізнавання характеристик поверхні нанооб'єкту. У той же час реалізація можливості значного зменшення сумарної кількості спостережень при забезпеченні заданого рівня достовірності розпізнавання може привести до значного підвищення швидкодії, внаслідок зменшення необхідного обсягу точок вимірювання і кількості вимірювальних засобів, що є дуже важливими факторами при проектуванні і експлуатації реальних систем. Але в цих дослідженнях не враховано вплив цілого ряду дестабілізуючих факторів на вимірювальний процес.

Виклад основного матеріалу. Було обрано певний відрізок часу проведення нановимірювань $T = [0, 1]$, під час якого спостерігався випадковий вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів

$$y(t) = \theta f(t) + \varepsilon(t), \quad t \in T, \quad (1)$$

де $f(t)$ – випадкова функція часу, θ – вимірювальний параметр $\varepsilon(t)$ – безперервний випадковий дестабілізуючий процес з коваріаційною функцією

$$K(s, t) = E\varepsilon(s)\varepsilon(t) \quad (s, t \in T),$$

де $K(s, t)$ – ядро щільності розподілу результатів вимірювання, яке формує несингулярну матрицю при звуженні на будь-яку кінцеву множину точок з T -діапазону, $\varepsilon(t)$ – безперервний випадковий дестабілізуючий процес.

Припустимо, що

$$T_n = \{t_1, \dots, t_n | 0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_n \leq 1\}.$$

Тоді вектор обходу нанооб'єкта зондом вимірювального комплексу Y_n утворюється відліками позиціонування нанооб'єкта $y(t)$ в точках вимірювального сегмента T_n

$$Y_n = (y(t_1), \dots, y(t_n))^T.$$

Аналогічно $f_n = (f(t_1), \dots, f(t_n))^T$ та $K_n = (K(t_i, t_k))_{i,k=1}^n$ при умові

$$Y_n \in \hat{\theta} = c^T Y_n,$$

$$\text{де } c = K_n^{-1} f_n / (f_n^T K_n^{-1} f_n).$$

Необхідною вимогою для оцінки точності визначення вимірювального параметру θ є відсутність збільшення дисперсії T_n . Тому важливою стає задача оптимального вибору множини точок вимірювання за певний період часу T_n . Оскільки доведено (1), що функція $f(t)$ є безперервною у діапазоні T , то

$$\|f\|^2 = \sup f_n^T K_n^{-1} f_n, \quad (2)$$

де верхня границя береться за всіма кінцевими наборами точок вимірювання за певний період часу T_n . Визначено, що клас функцій $\mathcal{F} = \{f | \|f\| < \infty\}$ є гільбертовим простором з ядром щільності розподілу результатів вимірювання K . Було припущено, що $(\cdot, \cdot)_K$ – скалярний добуток з оптимальної кількості точок вимірювання (2), тоді при будь-якому $t \in T$ функція $K(\cdot, t) \in \mathcal{F}$, а для будь-якої функції $f \in \mathcal{F}$ і будь-якого $t \in T$ отримуємо відтворюючу властивість

$$(f, K(\cdot, t))_K = f(t).$$

Доведено, що простір \mathcal{F} являє собою клас функцій регресії з мінімальною дисперсією лінійної оцінки дестабілізуючого параметра θ для всіх кінцевих наборів вимірювальних точок у певному фрактальному сегменті.

Встановлено, що якщо $z_n = c_n^T Y_n$ – це оцінка точності дестабілізуючого параметра θ в моделі (1) для T_n , тоді існує випадкова величина z , а

$$E_0 z = \theta, E_0 (z - \theta)^2 = \|f\|^{-2}, E_0 (z_n - z)^2 \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

Оскільки функція регресії $f \notin F$, то дисперсія найбільш точної оцінки дестабілізуючого параметра буде дорівнювати 0. Таким чином, простір F – простір регулярних зрушень безперервного випадкового дестабілізуючого процесу $\varepsilon(t)$. Встановлено, що

$$K(s, s) + K(t, t) - 2K(s, t) = \|K(\cdot, s) - K(\cdot, t)\|^2 \rightarrow 0, \quad t \rightarrow s,$$

звідки, враховуючи відтворюючої властивості $(f, K(\cdot, t))_K = f(t)$ було визначено, що простір F складається з безперервних функцій і є сепарабельним гільбертовим простором. Тобто, простір F було представлено як ізоморфний підпростору $L_2(T)$, для якого кінцеві набори спостережень випадкового процесу $\varepsilon(t)$ є лінійними комбінацій

$$\sum a_i K(s_i, t) \quad (t \in T).$$

Вирішено задачу оптимального вибору кінцевого набору точок для математичного опису випадкового дестабілізуючого процесу T_n . Нехай $S_n = \{T_n\}$ – безліч всіх кінцевих наборів, включаючих n різних точок. Оптимальний n -точковий набір вимірювальних точок для моделі(1) визначено як

$$T_n^* = \text{Arg} \sup_{T_n \in S_n} \|f\|_{T_n},$$

де норма $\|\cdot\|_{T_n}$, відповідна набору T_n випадкового дестабілізуючого процесу, яка отримана квадратичною формою з матрицею K_n^{-1} : $\|f\|_{T_n}^2 = f_{T_n}^2 K_n^{-1} f_n$.

Встановлено, що для гільбертового простору F_n з нормою $\|\cdot\|_n = \sup_{T_n \in S_n} \|\cdot\|_{T_n}$, $\|f\|_{T_n} = \|P_{T_n} f\|_n$,

де P_{T_n} – лінійний оператор підпростору $\{K(\cdot, t), t \in T_n\}$ в просторі F_n .

Зважаючи на те, що $P_{T_n'} f \rightarrow P_{T_n''} f$ при $T_n' \rightarrow T_n'' (t_i' \rightarrow t_i'', i = 1, \dots, n)$ є безперервним процесом, то $\|P_{T_n} f\|_n$ виступає як безперервна функція на безлічі n -точкових наборів S_n .

Доведено, що оптимальною кількістю вимірювальних точок для математичного опису топографії нанооб'єкта з урахуванням випадкового дестабілізуючого процесу є множина вимірювальних точок T_n для якого $\|f\|_n = \|f\|$, показник n є найменшим, а необхідною та достатньою умовою його розрахунку є дотримання рівняння

$$f(t) = \sum_{i=1}^n a_i K(t, t_i),$$

де набір (t_1, \dots, t_n) – оптимальна кількість вимірювальних точок.

Було також встановлено, що за відсутності заданої оптимальної кількості вимірювальних точок для математичного опису n -точкового рельєфу нанооб'єкта T_n^* можна при порівняно невеликій кількості точок застосовувати прямі числові методи пошуку максимуму величини $\|f\|_{T_n}$ як функції точок відліку.

Якщо метрологічне дослідження передбачає одночасне вимірювання додаткових параметрів рельєфу, таких як шорсткість, хвилястість або твердість поверхні, тоді розрахунок оптимальної кількості вимірювальних точок буде проводитись на основі узагальнення моделі (1). Вимірювання кількох параметрів $\theta_1, \dots, \theta_k$ має вигляд

$$y(t) = \sum_{i=1}^k \theta_i f_i(t) + \varepsilon(t), \quad t \in T = [0, 1], \quad (3)$$

де $f_1(t), \dots, f_k(t)$ – випадкові функції часу, а безперервний випадковий дестабілізуючий процес $\varepsilon(t)$ визначений, як в $\varepsilon(t) = y(t) - \theta f(t)$, $t \in T$.

Встановлено, що кожному набору точок відліку T_n відповідає система найкращих лінійних незміщених оцінок параметрів $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_k$ з коваріаційною матрицею $A_{T_n}^{-1}$, де матриця A_{T_n} порядку k має елементи

$$[A_{T_n}]_{rs} = \sum_{i,j=1}^n f_r(t_i) [K_n^{-1}]_{ij} f_s(t_j), \quad r, s = 1, \dots, k.$$

Оскільки безліч позитивно визначених матриць лише частково впорядковано, не можна гарантувати існування найменшої матриці $A_{T_n}^{-1}$ для деякого $T_n \in S_n$. Тому для цілей оптимізації необхідно використовувати одномірні критерії точності типу дисперсії лінійної форми від параметрів, максимальної дисперсії лінійної форми з деякої компактною безліччю таких форм або узагальненої дисперсії оцінок параметрів $\det A_{T_n}^{-1}$. Для того щоб відповідні критерії точності мали сенс, необхідно, як і в одномірному випадку, щоб функція $f(t) = Ey(t)$ належала простору регулярних зрушень процесу $\varepsilon(t)$, тому важливо, щоб $f_i \in F$ ($i = 1, \dots, n$), оскільки оптимальна кількість вимірювальних точок в наборі n нам заздалегідь не відома. Виключення становить ситуація, коли існує глобально-оптимальний набір, коли всі f_i представні у вигляді кінцевих лінійних комбінацій $\{K(t_j, t), t \in T_n\}$.

Для підвищення швидкодії обчислень оптимальної кількості вимірювальних точок запропоновано ввести критерій асимптотичної оптимальності. Оскільки $\|f\| = \lim_{n \rightarrow \infty} \|f\|_n$, то є природним послабити вимогу точної оптимальності кількості вимірювальних точок при кожному n до асимптотичної оптимальності кількості вимірювальних точок $\{T_n, n \rightarrow \infty\}$.

Зважаючи на те, що в моделі (1) $f(t)$ – випадкова функція часу

$$f(t) = \int_0^1 K(s, t)\phi(s)ds, \quad (4)$$

де функція $\phi(s)$ - безперервна на $T = [0, 1]$, $f \in F$.

Кількість вимірювальних точок $\{T_n, n > 1\}$ можемо вважати асимптотично оптимальною, якщо

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\|f\|^2 - \|P_{T_n} f\|^2}{\|f\|^2 - \sup_{T_n \in S_n} \|P_{T_n} f\|^2} = 1.$$

Типовий результат відносно структури асимптотично оптимальної кількості вимірювальних точок наведено на рис. 1.

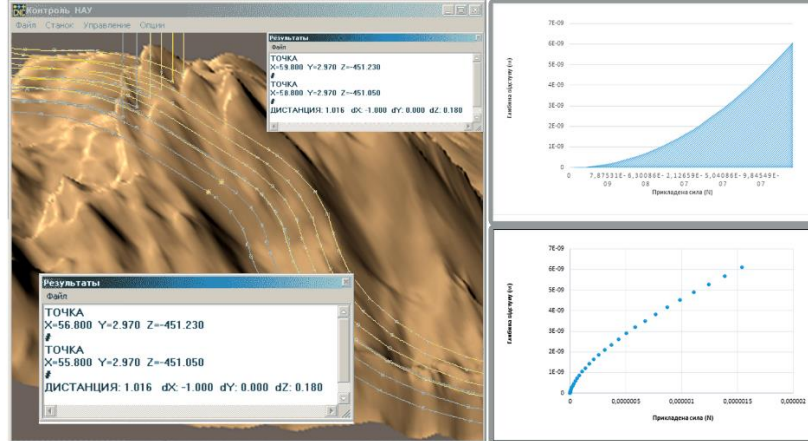


Рисунок 1. Програмне вікно з результатами сканування рельєфу нанооб'єкта

Він формується наступним чином: нехай ядро щільності розподілу результатів вимірювання $K(s, t)$ безперервне у визначеному фрактальному сегменті $T \times T$ і має безперервні похідні до другого порядку у всіх точках сегмента поза головною діагоналлю ($s \neq t$). На діагоналі $s=t$ функція має всі праві і ліві похідні до другого порядку включаючи і ненульовий стрибок першої похідної:

$$a(t) = \lim_{s \uparrow t} \frac{\partial}{\partial s} K(s, t) - \lim_{s \downarrow t} \frac{\partial}{\partial s} K(s, t) > 0, \quad t \in T;$$

при цьому функція $a(t)$ – суворо додатна і безперервна на T .

Припустимо, що $\partial^2 K(\cdot, t)/\partial t^2 \in F$ при будь-якому $t \in T$, тоді

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 \inf_{T_n \in S_n} \|f - P_{T_n} f\|^2 = \frac{1}{12} \int_0^1 [a(t)\phi^2(t)]^{1/3} dt.$$

Асимптотично оптимальна послідовність $[T_n^*]$ визначається через щільність $h(t) = [a(t)\phi^2(t)]^{1/3}$ наступним чином:

$$\int_0^{t_i^*} h(t)dt = \frac{i-1}{n-1} \int_0^1 h(t)dt, \quad i = 1, \dots, n,$$

де t_i^* - найменше число, що влаштовує написану умову. Тоді

$$K(s, t) = \int_0^{|t-s|^{-1}} \{1 - \lambda|t-s|\} p(\lambda) d\lambda,$$

де $p(\lambda)$ – ймовірнісна щільність на $(0, \infty)$ з умовами

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^3 p(\lambda) = c < \infty, \quad \int_0^{\infty} [\lambda p'(\lambda) + 3p(\lambda)]^2 \lambda^6 d\lambda < \infty,$$

Звідки отримуємо

$$K(s, t) = \int_0^{|t-s|^{-1}} e^{-\lambda|t-s|} dP(\lambda),$$

де $p(\lambda)$ – функція розподілу з кінцевим третім моментом.

Результат розрахунку асимптотично оптимальної послідовності може бути розповсюджений на функції $f(t)$ у вигляді

$$f(t) = \int_0^1 K(s, t)\phi(s)ds + \sum_{k=1}^N a_k K(s_k, t),$$

З чого можна зробити висновок, що вимогою безперервності вирішення інтегрального рівняння (4) можемо знехтувати на користь збільшення швидкодії обчислень.

Висновок. Отже, застосування наведеного методу оптимального вибору точок для математичного опису топологічних та фізичних характеристик поверхні нанооб'єкта може сприяти значному підвищенню точності та швидкодії розпізнавальної системи зондового вимірювального комплексу при проведенні метрологічних робіт в нанометровому діапазоні. За рахунок запропонованого методу асимптотичної оптимальності можна досягти врівноважених показників опису топологічних та фізичних характеристик поверхні нанооб'єктів. Перевагою методу є його гнучкість та придатність для застосування при вирішенні різноманітних метрологічних задач вимірювання фізичних властивостей нанооб'єкта з прив'язкою до рельєфу поверхні, а також адаптивність до застосування у програмному забезпеченні.

Література:

1. Крянев, А.В. Математические методы обработки неопределенных данных / А.В. Крянев, Г.В. Лукин. – М.: Физматлит, 2006. – 216 с.
2. The Chemical Structure of a Molecule Resolved by Atomic Force Microscopy / [L. Gross, F. Mohn, N. Moll та ін.]. // Science. – 2019. – №325. – С. 1110–1114.
3. Meyer G. Novel Optical Approach to Atomic Force Microscopy / G. Meyer, N. M. Amer. // Applied Physics Letters. – 2008. – №53. – С. 1045–1047.
4. Israelachvili J. N. Intermolecular and Surface Forces / J. N. Israelachvili. – Academic Press, 2015
5. Johnson K. L. Surface Energy and the Contact of Elastic Solids / K. L. Johnson, K. Kendall, A. D. Roberts. // Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences. – 1971. – №324. – С. 301–313.
6. Bhushan B. Contact Mechanics of Multilayered Rough Surfaces / B. Bhushan, W. Peng. // Applied Mechanics Reviews. – 2002. – №55. – С. 435–480.
7. Chi L. Nanotechnology, volume Nanostructured surfaces. / L. Chi. – Wiley-VCH, 2010.

Kataeva M., D. Kvashuk
National Aviation University

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF IMPROVING THE ACCURACY AND SPEED OF MEASUREMENT OF NANOBJECTS

The article identifies promising areas in metrological support for measurements in the nanometer range. It is determined that for measuring the mechanical properties of nanostructured materials with reference to the relief of the surface, the most common in use are measuring complexes that combine the capabilities of scanning probe microscopes and nanohardness testers. Therefore, the task of improving the accuracy and speed of the recognition system of the probe measuring complex due to the optimal choice of the number and location of measuring points on the surface of the nanoobject and reference points for mathematical description of topological and physical characteristics of the surface. It is proved that one of the main problems that arise in the process of measuring nanoobjects with a probe measuring complex is the negative impact of external destabilizing factors that can cause distortion of measurement information and inaccurate image of the terrain of the nanoobject. Since all destabilizing factors and the errors caused by them are unknown in advance and change randomly over time, it can be argued that we are dealing with a number of random functions of time. Based on the study, developed a method of optimal selection of the number of measuring points for mathematical description of a random process and proved that the proposed method significantly increases the accuracy and speed of the recognition system of probe measuring complexes in metrological work in the nanometer range.

Key words: *nanomeasurement, destabilizing factors, random processes, probe measuring complexes, speed of measuring process.*

УДК 621.09 (07):

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-08

Кузнєцов Ю.М., Бєляєва А.Ю., Гао Сінмін

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ВРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛЕЩАТ

***Анотація** В статті запропонована динамічна модель вертикально-фрезерного верстата, в якій основна увага спрямована на пружно-демпфуючі характеристики універсальних лещат з різними конструктивними особливостями виконання затискних губок. Створення прогресивного технологічного оснащення дозволяє підвищити техніко-економічні показники і розширити технологічні можливості обладнання в умовах механоскладального виробництва. Метою досліджень є розроблення схеми фрезерного верстата, його динамічної моделі з виділенням лещат згідно досягнень в теорії динаміки верстатів і машин. Розглянуто вплив контактних деформацій в стиках при різній кількості рухомих елементів в губках на жорсткість пружної системи верстата. Це дозволить в подальшому виконати математичне моделювання технологічної системи верстата і розробити рекомендації по підвищенню динамічної сталості за рахунок удосконалення лещат для затиску деталей складної форми і пошуку нових технічних рішень. Наведені міркування доцільно використовувати при моделюванні динамічної системи верстата. Доведено, що при пошуку нових технічних рішень універсальних лещат і вибору раціональних варіантів необхідно враховувати контактну жорсткість їх затискних елементів.*

Ключові слова: лещата, динамічна модель, фрактали, моделювання, жорсткість, контактні деформації

Вступ

Виклики четвертої промислової революції "Індустрія 4.0" [1] і наближення п'ятої четвертої революції "Індустрія 5.0" [2] потребують прискіпливого ставлення до випуску технологічного оснащення для метало- і деревообробного обладнання. Створення прогресивного технологічного оснащення дозволяє підвищити техніко-економічні показники і розширити технологічні можливості обладнання в умовах механоскладального виробництва [3, 4].

Широке розповсюдження на металорізальних верстатах, в механоскладальному виробництві і побуті мають лещата різних конструкцій, які в основному мають постійну структуру і один кінематичний ланцюг від двигуна (або ручного привода) до затискних елементів – губок [3,4,6].

Актуальним стає розробка нових універсальних лещат, які дають можливість суттєво розширити їх функціональні можливості (широкоуніверсальність, широкодіапазоність, адаптація до об'єкта будь-якої форми) [7]. Це буде сприяти зменшенню кількості оснащення і технологічних операцій, скорочення часу на підготовку виробництва і полегшенню праці людей при виконанні виробничих процесів, ремонтних роботах і в побутових умовах.

Серед універсальних лещат, що адаптуються до об'єктів будь-якої форми, відносяться так звані фрактальні лещата [11], пов'язані з теорією фракталів, яка поки що отримала визнання тільки математиками і фізиками [8].

В той же час відсутні роботи по дослідженню впливу лещат, як пристосування, на динамічну систему верстата, основними елементами якої є пружна система (ПС), робочі процеси тертя, різання, процеси в двигунах [2,6]. ПС включає верстат, пристосування, інструмент, деталь.

Мета досліджень – розробити схему фрезерного верстата, його динамічну модель з виділенням лещат згідно досягнень в теорії динаміки верстатів і машин.

Сутність досліджень. Для досягнення поставленої мети розроблена спрощена схема вертикально-фрезерного верстата (рис.1), на якій дії на ПС процесів тертя, різання

(фрезерування) і процесів в двигунах Д (D_r, D_b, D_ϕ, D_l) позначені через F (F_r, F_b, F_ϕ) і M (M_r, M_b, M_ϕ, M_l).

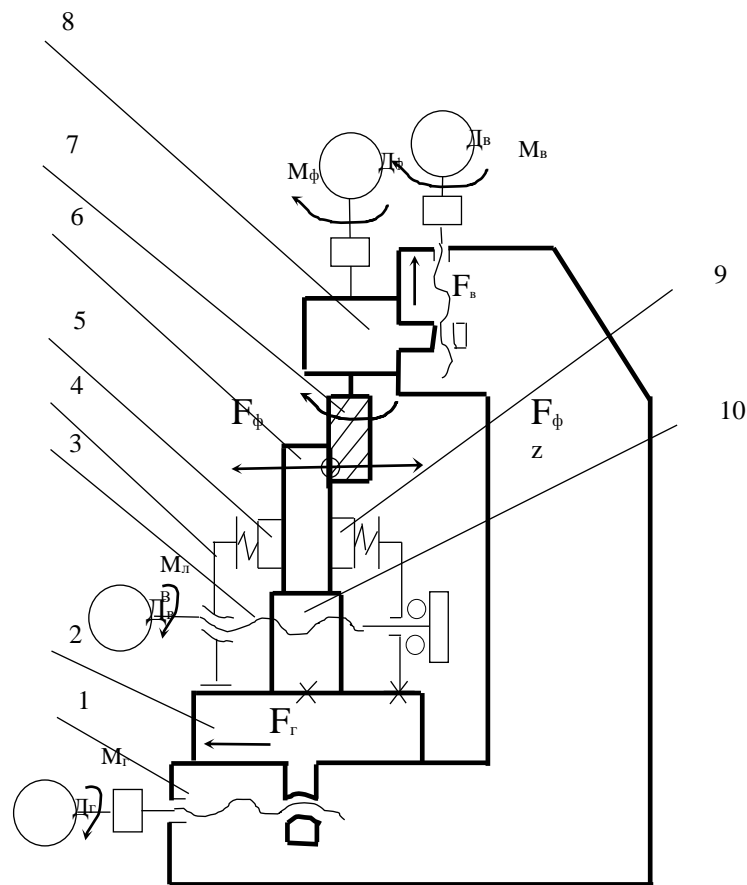


Рис.1. Спрощена схема фрезерного верстата з лещатами: 1-верстат; 2-робочий стіл; 3-гвинтова пара приводу затиску; 4-лещата; 5,9-затискні елементи-губки; 6-об'єкт затиску-деталь; 7-фреза; 8-шпиндельна бабка; 10-упор для деталі

Умовна схема багатоконтурної замкненої динамічної системи верстата, крім дій F , F_ϕ і M , містить зовнішнє збудження $f(t)$ на ПС, переміщення y , які викликані внаслідок цих збуджень, і зміни настроювання $y(t)$ робочого процесу. При дослідженні процесу різання багатоконтурну динамічну систему для спрощення умовно заміняємо на одноконтурну (рис.2), що складається з процесу різання (фрезерування) і еквівалентної пружної системи (ЕПС), до якої приведені інші елементи системи.

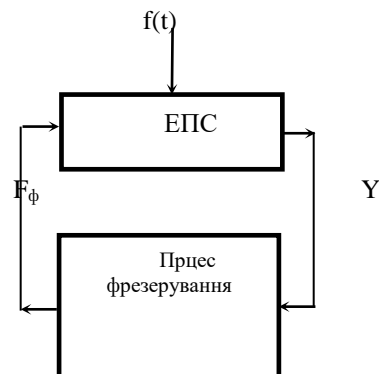


Рис.2. Одноконтурна еквівалентна динамічна система верстата при дослідженні процесу фрезерування

При формуванні ЕПС виділяємо систему «інструмент (фреза)-об'єкт затиску (деталь)-лещата (затискні елементи-губки, привід затиску). В цьому випадку при послідовному з'єднанні для визначення приведеної жорсткості системи складаються їх піддатливості [5,6]:

$$e_{фл} = e_{ф} + e_{д} + e_{л}, \quad (1)$$

де $e_{фл} = 1/C_{фл}$; $e_{ф} = 1/C_{ф}$; $e_{д} = 1/C_{д}$; $e_{л} = 1/C_{л}$; $C_{фл}$, $C_{ф}$, $C_{д}$, $C_{л}$ – відповідно жорсткості системи «фреза-лещата», фрези, деталі, лещат.

Тоді приведена жорсткість системи «фреза-лещата»:

$$C_{фл} = C_{ф} C_{д} C_{л} / [C_{л} (C_{ф} + C_{д}) + C_{ф} C_{д}] \quad (2)$$

Якщо розглянути тільки підсистему «лещата (затискні елементи-губки, привід затиску)», то її приведена жорсткість буде:

$$C_{л} = C_{г} C_{пз} / (C_{г} + C_{пз}), \quad (3)$$

де $C_{г}$, $C_{пз}$ – відповідно жорсткості губок і приводу затиску.

В приводі затиску твердотілого виконання, крім контактних деформацій, можливі люфти від проміжків, які утворюються в межах конструктивних допусків для переміщення і технологічного виконання для забезпечення шорсткості поверхонь контактуючих пар. Переважна більшість лещат мають привід затиску у вигляді самогальмуючої пари гвинт – гайка ковзання. В результаті жорсткість приводу затиску $C_{пз}$ завжди буде набагато менше жорсткості $C_{г}$ цільних губок. Позначим через a (альфа) співвідношення $C_{г} / C_{пз}$.

Тоді рівняння (3) прийме наступний вигляд:

$$C_{л} = C_{г} [1/a_{г} (1 + 1/a_{г})] \quad (4)$$

Оскільки $C_{пз} = C_{г} / a_{г}$, то вплив конструктивного виконання приводу затиску і затискних губок на конструкцію лещат при подальших статичних і динамічних дослідженнях можна уявити графіком, де по осі ординат $C_{л} / C_{г}$, а по осі абсцис $a_{г}$ (рис.3).

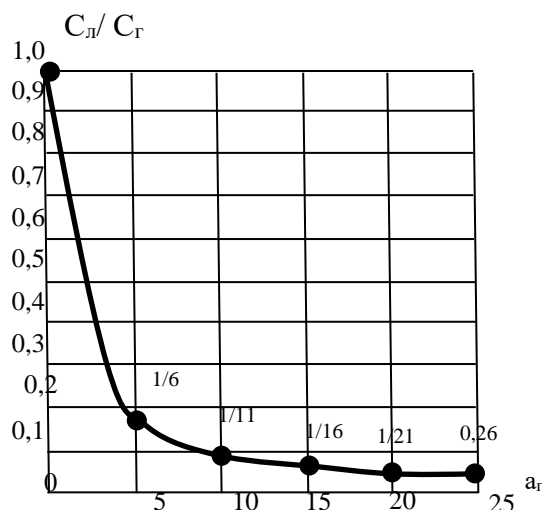


Рис. 3. Картина тенденції впливу конструктивного виконання приводу затиску і затискних губок лещат на їх жорсткість

В лещатах розповсюдженими є дві схеми затиску деталі: притискання деталі Д до жорсткого упору (рис. 4,а) і стискання деталі Д з дох сторін (рис. 4,б). При першій схемі з одного боку розташована рухома губка Г₁, а з другого – жорсткий упор, який при розрахунках і дослідженнях можна вважати абсолютно жорстким для спрощення. При другій схемі треба враховувати жорсткості обох губок Г₁ і Г₂.

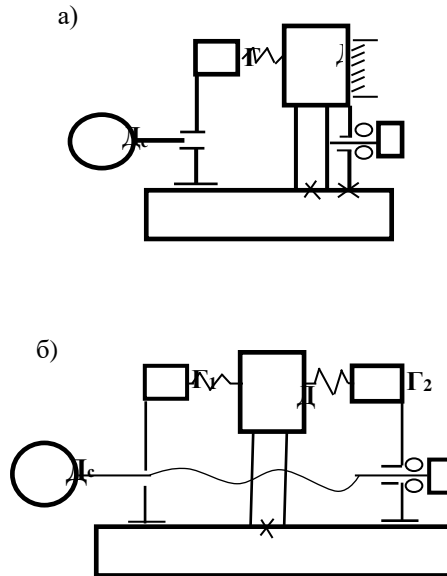


Рис.4. Схеми лещат з розташуванням затискних губок з однієї сторони (а) і двох сторін (б)

Нижче розглянемо приклади визначення приведеної жорсткості з різним конструктивним виконанням затискних губок з точки зору розширення функціональних можливостей по формі деталей, що затискаються (прості, складні, будь-якої форми) і оцінювання зміни приведеної жорсткості (рис.5).

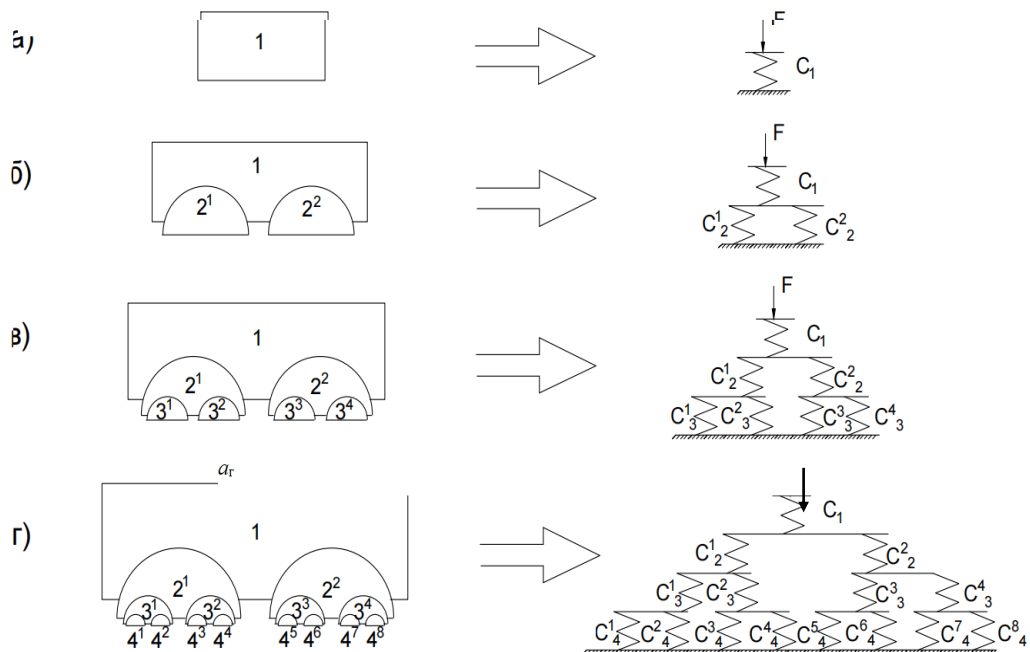


Рис.5. Порівняльна картина зміни жорсткості затискних губок з одного боку різних лещат: традиційні лещата з цільною губкою (а); фрактальні лещата з поворотними губками в кількості дві (б), чотири (в), вісім (г)

Висновки:

- 1) Створені передумови для врахування конструктивних особливостей лещат при визначенні їх жорсткості в технологічній системі фрезерного верстата.
- 2) Наведені міркування доцільно використовувати при моделюванні динамічної системи верстата.
- 3) Доведено, що при пошуку нових технічних рішень універсальних лещат і вибору раціональних варіантів необхідно враховувати контактну жорсткість їх затискних елементів.
- 4) Аналогічно приведеним коефіцієнтам жорсткості для розробки динамічної моделі відповідно до рекомендацій [2,5,6] можна враховувати приведені коефіцієнти демпфування елементів системи верстата.

Список літератури

1. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины // Вестник ХНТУ, №2 (61), 2017.-с.67-75.
2. Кудинов В.А. Динамика станков. -М.: Машиностроение, 1967.-359 с.
3. Кузнецов Ю.М., Крижанівський В.А., Хамуйєла Т.О. Системно-морфологічний підхід при створенні затискних пристроїв для затиску призматичних заготовок // Наукові праці КНТУ. – 2004. - № 5. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жёсткость.-М.:Машиностроение, 1971.-264 с.
4. Кузнецов Ю.М., Хамуйєла Т.О., Неделчева П.М. Создание зажимных устройств с несколькими кинематическими цепями для призматических заготовок // Труды международной научной конференции «УНИТЕХ'05», Габрово, 24-25.11.2005 г.- с.127-132.
5. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жёсткость.-М.:Машиностроение, 1971.-264 с.
6. Орликов М.Л. Динамика станков.-2-е изд., перераб. и доп.-К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989.-272 с.
7. Патент України № 15583 на корисну модель "Лещата" / Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Т. О., Яковенко С. П., МПК В23 Q 3/08, № 200512035 від 14.12.2005 опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.
8. Патент України на корисну модель "Лещата" № 21917/ Кузнецов Ю. М., Хамуйєла Т. О., Панченко М. М., МПК В23 Q 3/08, опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4.
9. Патент України на корисну модель "Лещата" № 151096 / Кузнецов Ю. М., Гао Сінмін, МПК В2В 1/04, опубл. 01.06.2022, Бюл. № 22.
10. Тринг М., Лейтуэйт Э. Как изобретать? / Пер. с англ. А. С. Доброславского; под. ред. и предисл. В. В. Партикеева. – М.: Мир, 1980. - 172 с.
11. Patent USA No 1,059,545 "Device for obtaining intimate Contact with, engaging, or clamping bodies of any shape" /Paulin Karl Kunze. Applied field March 21,1912. Serial No. 685,288. Patented Apr.22,1913.
12. Mandelbrot, Benoît . Fractals: Form, chance, and dimension . San-Francisco: Freeman 1977. - с. 346.
13. Mandelbrot Benoit B. The fractal geometry of nature. Vol. 173. New York: Freeman. с. 540. Macmillan, 1983.
14. Sierpinski, Waclaw. Sur une courbe dont tout point est un point de ramification // Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. - Paris. – Tome 160, Janvier - Juin 1915. - Pp. 302 – 305.

Kuznetsov Yu.M., Bieliaieva A.Yu., Gao Xinmin National

Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DEVELOPMENT OF DYNAMIC MODEL OF MILLING MACHINE TAKING INTO ACCOUNT THE DESIGN FEATURES OF THE VICE

***Abstract.** In the article a dynamic model of a vertical milling machine is proposed, in which the main attention is directed to the elastic-damping characteristics of universal vises with various design features of the clamping jaws. The creation of progressive technological equipment allows to increase technical and economic indicators and expand the technological capabilities of equipment in the conditions of mechanical assembly production. The purpose of research is to develop a scheme of a milling machine, its dynamic model with the selection of vices according to achievements in the theory of dynamics of machines and machines. The effect of contact deformations in the joints with*

different numbers of moving elements in the jaws on the rigidity of the elastic system of the machine tool is considered. This will make it possible to perform mathematical modeling of the technological system of the machine and to develop recommendations for increasing dynamic stability due to the improvement of vices for clamping parts of a complex shape and the search for new technical solutions. It is advisable to use the above considerations when modeling the dynamic system of the machine. It has been proven that when searching for new technical solutions for universal vices and choosing rational options, it is necessary to take into account the contact stiffness of their clamping elements.

Key words: *vise, dynamic model, fractals, modeling, stiffness, contact deformations*

УДК 631.356.22

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-09

Ліннік А.Ю. к.т.н., доц..

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУЦІЇ ТА КІНЕМАТИЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ГИЧКООЧИСНОГО ПРИСТРОЮ

Природний потенціал сільськогосподарських угідь України дозволяє стати лідером по виробництві цукру в Європі. Проте, для успішного виходу на європейські ринки необхідно забезпечити конкурентоспроможність виготовленої продукції, що можна досягти різними шляхами, зокрема: підвищення якості сировини, зниження затрат праці та енергоємності процесів виробництва.

Проведено аналіз класичних технологій очищення голівок коренеплодів та їх збирання, вплив різних конструктивних схем очищувальних пристроїв на чистоту голівки та цілісність тіла кореня з урахуванням енерговитрат на процес. Досліджено проблему удосконалення існуючих та винайдення нових конструкцій гичкоочисних машин з урахуванням фізико-механічних властивостей тіл контакту очисник-коренеплід, якість роботи яких задовільнила б агротехнічні вимоги.

У статті запропоновано нову конструкцію пристрою для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків в якій поєднано два технологічних процеси – зрізування гички та послідує доочищення поверхні голівки коренеплоду жорсткою поверхнею диска та еластичними бичами за умови копіюванні висоти росту кожного коренеплоду. Запропонована конструкція пристрою виконана у вигляді встановленого під кутом до вертикалі приводного валу на якому з можливістю осьового переміщення закріплено маточину з копіювальним диском на якому встановлено ножі та очисні лопаті. Також проведений аналіз кінематичних характеристик роботи даного очисника та обґрунтовано кінематичний режим його роботи.

Результатом дослідження є визначенні перспективи вдосконалення технології очищення гички цукрових буряків, запропоновано нову конструкцію очисної машини комбінованої дії та обґрунтовано кінематичний режим роботи очисника.

Ключові слова: гичка, залишки гички, коренеплід, цукровий буряк, очистка, доочищення.

Постановка проблеми. Природний потенціал сільськогосподарських угідь України дозволяє стати лідером по виробництві цукру в Європі. Проте, для успішного виходу на європейські ринки необхідно забезпечити конкурентоспроможність виготовленої продукції, що можна досягти різними шляхами, зокрема: підвищення якості сировини, зниження затрат праці та енергоємності процесів виробництва.

Виробництво цукрової сировини на теренах нашої держави зосереджене на вирощуванні цукрового буряка. Протягом останніх років за даними Держкомстату України [1] на вітчизняних полях спостерігається тенденція збільшення площ посівів цукрового буряка. Це зумовлено тим, що основний продукт – цукор є базовою сировиною для багатьох харчових виробництв, а тому є важливою складовою продовольчої безпеки держави. На виробництво цукру визначальний вплив має якість підготовки сировини, тобто коренеплодів цукрових буряків, а саме їх цукристість, ступінь пошкодження та якість очистки від ґрунту та залишків гички.

Збирання врожаю цукрового буряка проводиться в основному комбайнами, якої за один робочий хід виконують цілий ряд операцій – безкопірне зрізання гички за часто пасивними зрізуючими робочими органами, викопування коренеплоду, очищення кореня від залишків ґрунту [2,3]. Проте, в даних машинах не приділено достатньо уваги питанню відділення залишків гички від тіла коренеплоду. Забруднення викопаних коренеплодів залишками гички негативно впливає на процес цукроваріння, що в свою чергу веде до збільшення витрат на сам процес, а відповідно збільшується собівартість кінцевого продукту. Поряд з тим, існує ще ряд ускладнень пов'язаних із забрудненням залишками гички, а саме, збільшення енерговитрат на транспортування сировини до місць кагатування і до площадок заводів та втрати при зберіганні в кагатах через гниття коренів, яке сильно залежить від наявності залишків гички, оскільки в ній зберігається надлишкова волога яка активно сприяє розвитку мікроорганізмів та грибків – збудників гнилей.

Постає проблема удосконалення існуючих та винайдення нових перспективних конструкцій очисних та доочисних робочих органів збиральних машин, обґрунтування раціональних режимів їх роботи та, в кінцевому результаті, забезпечення даної галузі якісною та надійною технікою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо, що для зменшення енергозатрат та часу збирання врожаю цукрових буряків проводиться прямим комбайнуванням при виконанні операцій очистки гички на корені та викопування коренеплодів однією машиною [2]. Проте, дослідження показали незадовільну якість очистки залишків гички на викопаних коренеплодах, причиною чого є недосконалість конструкції та режимів роботи очисних пристроїв [4,5].

Фундаментальні основи дослідження процесу доочищення коренеплодів від залишків гички викладені у працях проф. Вовк П.Ф., який в 1936 році опублікував статтю в якій викладені фізико-механічні агробіологічні властивості цукрових буряків, залежності між окремими розмірами буряків та втрати цукристої маси коренеплодів при різних способах зрізування коронки. Ця робота, а також праці українських вчених Василенка А.О., Бурмістрової М.Ф., Тат'янка М.В., Денисенка І.І., Погорілого Л.В., Зуєва М.М. справили основоположний вплив на розвиток бурякозбиральних машин. Значну увагу вивченню біологічних та фізико-механічних властивостей цукрових буряків у зв'язку з механізацією їх збирання приділяли також за кордоном. Відстані між коренеплодами в рядку та положення їх головок відносно поверхні ґрунту справляють істотний вплив на процес обрізування гички і доочищення головок.

Математичним моделюванням процесу доочищення голівок коренеплодів на доочисними агрегатами, а також теоретичними дослідженнями цього процесу займалися такі видатні вчені як Погорілий Л.В., Булгаков В.М., Мартиненко В.Я..

Незважаючи на досить широке дослідження питання доочищення голівок коренеплодів від залишків гички, деякі способи завдяки яким можна досягнути необхідної чистоти вороху коренеплодів пов'язані зі значними пошкодженнями самого тіла коренеплоду при використанні жорстких і пружних доочисних органів, а також зустрічаються робочі органи які характеризуються складною конструкцією, яка незможі забезпечити довготривалу роботоздатність процесу.

Тому виникає необхідність створення конструктивно нового робочого органу виходячи з таких умов як, мінімальне пошкодження тіла самого коренеплоду, невибивання його з рядка, задовільного ступеня доочистки голівки коренеплоду що можна досягнути вирішивши конструктивні задачі та обґрунтувати раціональний режим роботи конкретного очисника враховуючи фізико-механічні властивості контактуючих тіл.

Мета, завдання та методика досліджень. Метою дослідження виступає підвищення якості очищення коренеплодів від гички та зниження енергомісткості процесу очистки шляхом створення нової конструкції робочого органу, який би забезпечував якісні показники виконання операції відповідно до агротехнічних вимог при мінімальних енергозатратах та обґрунтування кінематичного режиму роботи очисника.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: провести дослідження відомих конструкцій очисників коренеплодів з метою виявлення причин зниження якості очищення коренеплодів, розробити нову конструктивну схему очисника з урахуванням недоліків відомих конструкцій, обґрунтувати кінематичний режим роботи машини з урахуванням фізичних та механічних властивостей контактуючих тіл та за умови відсутності пропусків контакту лопать–поверхня голівки коренеплоду.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії доочисника з головками коренеплодів та залишками гички

Проведення досліджень здійснювались з використанням загальних методик дослідження (спостереження, порівняння, аналіз, патентний пошук) та методів теоретичної та аналітичної механіки і статистики

Результати досліджень. Однією з основних агротехнічних вимог, що ставляться до гичковидальючих машин є якість очищення голівок коренеплодів від залишків гички, які не повинні перевищувати 3 % по масі. Відомі конструкції обрізуючих пристроїв, а також пасивних дообрізувачів гичкозбиральних машин, які проводять для забезпечення необхідної чистоти сировини зріз частини голівки коренеплоду разом із гичкою на рівні основи черешків застосовувати не раціонально, оскільки мають місце втрати цукристої маси 6...8 %. Відносно без втрат цукристої маси працюють машини з копірним зрізанням гички та послідуочим

доочищенням еластичними робочими органами голівки кореня. Проте, робота таких машин характеризується значною енергоємністю за рахунок наявності роздільних механізмів для зрізання та очищення гички [4,5].

Поставлена мета досягається тим, що новостворена конструкція очисника голівок коренеплодів від залишків гички (рис.1) виконує одночасно дві технологічні операції – копірний по висоті зріз гички коренеплоду та послідовне доочищення поверхні голівки еластичним та жорстким робочими органами [6]. Копіювання висоти росту голівок коренеплоду є основою для запобігання зрізу частини тіла кореня, також цьому сприяє шарнірне кріплення обрізуючих ножів на поверхні копіюючого диска, які при знаходженні на коренеплід відхиляються і зрізають частини голівки.

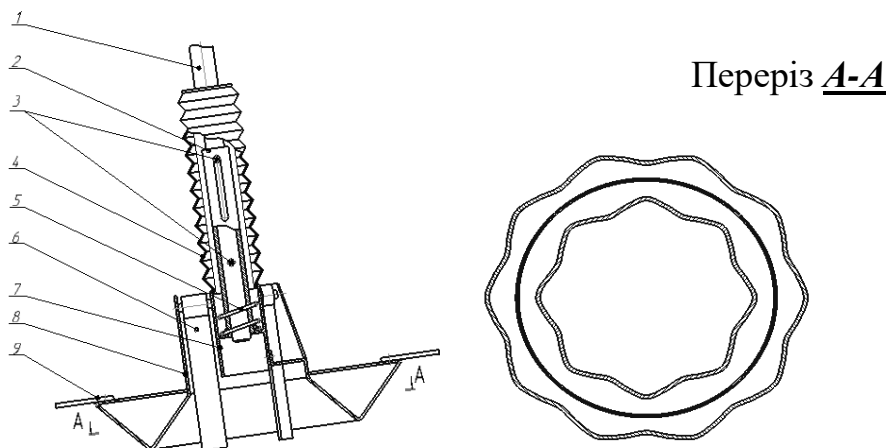


Рис.1. Пристрій для одночасного зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків [6]:

Така альтернатива обрізуючим ножам, які часто використовуються в коренезбиральних машинах і проводять зріз голівки коренеплоду на рівні основи черешків, виникає з метою збереження цілісності голівки коренеплоду і відповідно знизити втрати врожаю коренів на 6...8%. Для досягнення необхідної чистоти поверхні голівки коренеплоду застосовується доочищення жорсткою ребристою поверхнею копіюючого конусного диска, який проводить обламування черешків, або їх приминання, та послідовне доочищення еластичними лопатями, які повністю обгортають надземну поверхню кореня і зчісують залишки гички. Зусилля з яким діє на поверхню голівки ребриста поверхня копіюючого диска регулюється стисканням пружини копіювального пристрою, а зусилля еластичних робочих органів – швидкістю обертання робочого вала пристрою.

Запропонована конструкція пристрою для одночасного зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків виконана у вигляді вала 1 встановленого під кутом до вертикалі, зв'язаного з втулкою 2 за допомогою двох штифтів 3, встановлених у валу таким чином, що їхні кінці знаходяться в пазах втулки і забезпечують можливість осьового переміщення втулки відносно вала, при чому, рухома пара втулка-вал закрита пилозахисним гофрованим кожухом 4. Втулка, за допомогою маточини 7, жорстко з'єднана з диском 8, який складається з несучої частини, на якій встановлено через 900 обрізуючі ножі 9 та очисні еластичні лопаті 6, закріплені через 1200 та копіюючої, виконаної у вигляді конуса, направлено меншою частиною вниз, причому, поверхні конуса є ребристими.

Пристрій для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків містить встановлений під кутом до вертикалі вал 1, на якому встановлена втулка 2, в пазах якої розташовані вільними кінцями штифти 3, що забезпечують можливість осьового переміщення втулки відносно вала. Під дією пружини 5 втулка підтиснута в крайнє нижнє положення, при цьому рухома пара втулка-вал закрита пилозахисним гофрованим кожухом 4. Втулка, за допомогою маточини 7 жорстко з'єднана з диском 8, копіювальна частина якого виконана у вигляді конуса і направлена меншою основою вниз, причому поверхні конуса є ребристими. На несучій частині диска, шарнірно встановлені через 900 обрізуючі ножі 9, та на осях,

закріплених одним кінцем в диску, а іншим у втулці, еластичні очисні елементи – лопаті 6 через кожні 1200.

Пристрій для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків працює наступним чином. При русі агрегату вздовж рядка приводиться в рух вал 1 і відповідно диск 8, котрий приводить в рух ножі 9 та очисні елементи 6. Гичка зрізується ножами і відкидається з оброблювальної зони. Очищення від залишків гички проходить в два етапи: спершу при копіюванні висоти росту коренеплоду в контакт з голівкою вступають ребристі конусні поверхні диска обламуючи та зчісуючи черешки гички за рахунок своєї профільної поверхні, далі очисні елементи 6 проводять додаткове обчісування залишків гички на голівці коренеплоду. Таким чином, відбувається одночасне зрізування гички з винесенням її за межі рядка та очищення головок коренеплодів.

Копіювання висоти росту коренеплодів виконується копіювальною частиною диска 8 наступним чином. При зустрічі з високим коренеплодом конус ковзає по голівці коренеплоду і піднімає диск на необхідну висоту. Після проходження голівки коренеплоду під дією пружини 5 диск опускається, при цьому очищений коренеплід не впливатиме на копіювання висоти росту наступного коренеплоду, оскільки пройдётиме під поверхнею копіювальної частини диска завдяки куту нахилу осі валу до вертикалі. Розміщення копіювального елемента безпосередньо на очисному диску забезпечує підвищення якості очистки голівок коренеплодів та спрощує в цілому конструкцію очисника.

Для отримання необхідної якості роботи гичковидальючих машин, яка задовольняє агротехнічні вимоги, необхідно провести обґрунтування кінематичного режиму роботи очисника. Кінематичний режим роботи очисника визначається за умови відсутності пропусків контакту лопать–поверхня голівки коренеплоду що забезпечить мінімальне пошкодження коренів за рахунок повторного контакту лопатей з коренем.

В даному випадку, вісь обертання очисника розташована під кутом до поверхні ґрунту, але для спрощення розрахунку вважатимемо що вісь розміщення перпендикулярно до поверхні ґрунту відповідно і напрямку руху очисника v_m (рис.2). При обертанні вала очисника з кутовою швидкістю w , кінці лопаті матимуть колові швидкості v відносно русі [7,8]:

$$v = w l; \quad (1)$$

де l – відповідно довжина лопаті.

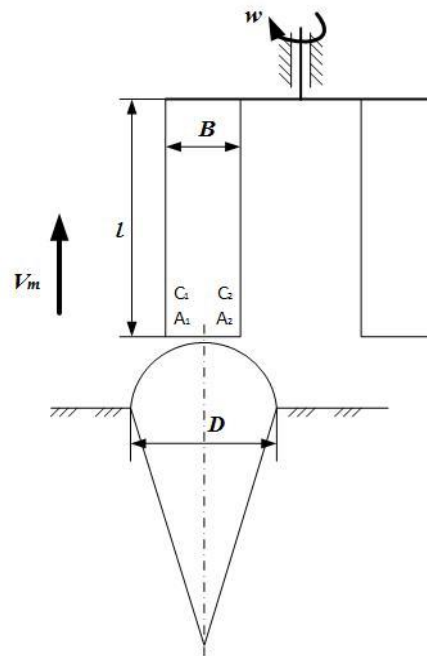


Рис.2. Загальна схема взаємодії лопаті очисника з голівкою коренеплоду

В абсолютному русі лопаті робочого органу здійснюють рух по гвинтовій лінії (рис.3).

Параметром цієї гвинтової лінії є величина S (відстань між сусідніми однойменними точками однієї лопаті) за повний оберт робочого органу при проходженні шляху $t_s v_m$. При

цьому час t_w , за який відбувається повний оберт очисника, дорівнює (за умов наявності однієї лопаті):

$$t_w = \frac{2\pi}{w} \quad (2)$$

А час, за який машина пройде шлях S , становить:

$$t_s = \frac{S}{v_m} \quad (3)$$

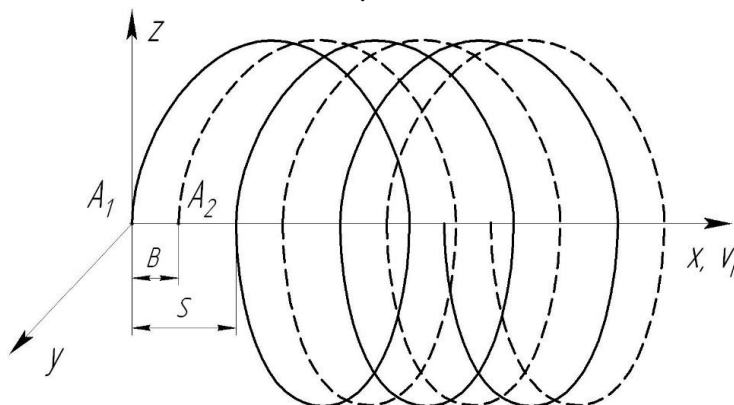


Рис. 3. Траекторія абсолютного руху кінцевих точок лопаті очисника коренеплодів

Для запобігання пропусків контакту лопаті з головкою кореня необхідно щоб

виконувалась умова: $t_w \leq t_s$, або $\frac{2\pi}{w} \leq \frac{S}{v_m}$. З урахуванням наявності декількох (n) лопатей, останній вираз матиме вигляд:

$$\frac{2\pi}{nw} \leq \frac{S}{v_m} \quad (4)$$

А якщо врахувати ширину лопаті B , тобто $S = B$, то останній вираз матиме вигляд:

$\frac{2\pi}{nw} \leq \frac{B}{v_m}$. Помноживши праву та ліву частини цього виразу на v_m та виконавши деякі перетворення, можна отримати величину відношення переносної та кутової швидкостей очисника, яка забезпечує відсутність пропусків контакту лопатей очисника з головкою коренеплоду:

$$\frac{v_m}{w} \leq \frac{Bn}{2\pi} \quad (5)$$

Таким чином вираз (5) є коефіцієнтом кінематичного режиму роботи ротаційного очисника з віссю обертання перпендикулярної до напрямку переносної поступальної швидкості (швидкості машини).

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована конструкція пристрою для очищення голівок коренеплодів від гички на кореню комбінованої дії завдяки своїм конструктивним особливостям може використовуватися в складі як бурякозбирального комбайна так і самостійною машиною та забезпечити якісні вимоги щодо чистоти коренеплодів. Раціональний режим роботи даної конструкції очисника обумовлюється коефіцієнтом кінематичного режиму роботи при дотриманні якого забезпечується очищення зрізування гички та очистка залишків черешків та зберігається цілісність тіла коренеплоду. Також, проведені дослідження створили передумови для визначення допустимих динамічних навантажень у зоні контакту лопаті-корінь, для чого слід розв'язати задачу контакту про

контактну взаємодію з урахуванням допустимих напружень у тілі кореня, виходячи з критерію його міцності і напружень руйнування залишків гички

Інформаційні джерела

1. Посівні площі сільськогосподарських культур за їх видами. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Козіброда Я.І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків. – Тернопіль.: Збруч, 1996. – 91 с.
3. Ліннік А.Ю. Перспективні напрямки розвитку машин для очищення гички цукрових буряків / Ліннік А.Ю. // Формування конкурентоспроможної економіки: теоретичні, методичні та практичні засади: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. 21-22 березн. 2013р. – Тернопіль: Крок, 2013. – с. 83.
4. Погорілий М.Л. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки // Техніка АПК. – 2000. – № 1. – С. 14-18.
5. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. – К.: Аграрна наука, 2001.-280с.
6. Пат. 122643 UA А 01 D 23/02 (2006.1) Пристрій для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків/ Ліннік А.Ю., Юрчишин Н.І. - №201705457 заявл. 02.06.17, опубл. 21.01.18. Бюл №2.
7. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980. – 304 с.
8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / Джонсон К – М.: Мир, 1989. – 510 с.

A. Linnik Ph. D.

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Berezhanıy Agrotechnical institute

CONSTRUCTIONS AND CINEMATIC MODE OF OPERATION CLEANER OF ROOT CROPS

The results of research of structural features of devices are presented for the simultaneous cutting away of tops and cleaning of heads of root crops of sugar beets, certainly their positive sides and failings. On the basis of what the new is offered structurally technological the chart of purifier of heads of root crops from tailings of tops with the vertical axis of rotation in which is united technological operations of cutting away of tops and doochischennya tailings of tops, thus cleaning of heads of root crops after cutting away of bulk of tops from a working area conducted knives and taking away of it by a purifier with an elastic working at the printing-down of growth of head of root crop, that allows to attain high quality of cleaning at the minimum damages of body of root crop.

The analysis of classical root clearing technologies and their collection, the effect of different schemes of purification devices on the purity of the head and the integrity of the body of the root, taking into account the energy consumption of the process, are carried out. The problem of improving existing and inventions of new constructions of machines for cleaning taking into account the physical and mechanical properties of root crops of contact cleaning, the quality of work satisfies agrotechnical requirements.

The article proposes a new construction of a device for cutting the hinges and cleaning the sugar beet root crops heads, which combines two technological processes - cutting the hinges and subsequently finishing the surface of the head of the root with a hard surface of the disk and elastic whiskers, provided that the copy height of each root crop is copied. The proposed design of the device is made in the form of a drive shaft installed at an angle to the vertical, on which, with the possibility of axial displacement, a harness with a copying disc on which the knives and cleaning blades are installed is secured.

Also, an analysis of the kinematic characteristics of the work of this cleaner is carried out and the kinematic mode of his work is substantiated.

The result of the study is to determine the prospects for improving the technology of cleaning the honeycomb sugar beet, proposed a new design of a combined cleaning machine and substantiates the kinematic mode of the work of the cleaner.

Keywords: loops, remnants of stems, root, sugar beet, cleaning.

УДК 621.315.592

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-10

Луцьков С.В., Цизь А.І.

Луцький національний технічний університет

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ТЕНЗОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ γ -ОПРОМІНЕНИХ МОНОКРИСТАЛІВ n-Si

Дослідженні електричні властивості та тензорезистивний ефект при одновісному тискові вздовж кристалографічного напрямку [100] для неопромінених та γ -опромінених монокристалів кремнію, легованих домішкою фосфору, при температурі рідкого азоту та кімнатній. На основі вимірювань ефекту Холла було встановлено, що при збільшенні дози γ -опромінення зменшується концентрація та рухливість електронів в монокристалах n-Si. Значне зменшення концентрації електронів при $T=77$ К для опромінених дозою $\Phi=5\cdot 10^8$ Р монокристалів n-Si пов'язане з утворенням при γ -опроміненні значної концентрації акцепторних рівнів радіаційних дефектів (А- та Е-центрів, дивакансій та інших). Для доз γ -опромінення $\Phi < 5\cdot 10^7$ Р наявність тензорезистивного ефекту n-Si пояснюється зменшенням рухливості електронів при одновісному тискові, оскільки концентрація електронів практично залишається сталою. Зменшення питомого опору при переході через максимум залежності для γ -опромінених дозою $\Phi=5\cdot 10^8$ Р монокристалів n-Si пов'язане зі зростанням концентрації електронів за рахунок іонізації локальних рівнів радіаційних дефектів при збільшенні одновісного тиску. Експериментальні вимірювання ефекту Холла та тензорезистивного ефекту добре корелюють з одержаними залежностями коефіцієнта тензочутливості. З аналізу даних залежностей слідує, що збільшення температури та дози γ -опромінення призводить до зменшення коефіцієнта тензочутливості n-Si. Одержані результати можуть знайти своє практичне використання для конструювання радіаційно стійких сенсорів тиску на основі монокристалів n-Si.

Ключові слова: монокристали n-Si, γ -опромінення, тензорезистивний ефект, коефіцієнт тензочутливості, одновісний тиск, рухливість електронів.

Постановка проблеми. Розвиток ядерної та термоядерної енергетики, атомної та космічної техніки стимулювало дослідження впливу ядерного випромінювання на властивості твердих тіл. Такі дослідження дозволяють отримувати за допомогою дуже чутливих та тонких кількісних методів важливу інформацію про характер та природу структурних порушень в кристали, пов'язаних з утворенням різного роду дефектів або домішок [1]. Модифікація властивостей твердих тіл за допомогою ядерного випромінювання є потужним інструментом спрямованої зміни властивостей твердих тіл для створення нових матеріалів та приладів із заданими характеристиками [2, 3]. Для керування параметрами напівпровідникових приладів в умовах підвищеної радіації необхідні фундаментальні дослідження механізмів утворення та природи радіаційних дефектів. Значна увага в даному відношенні приділяється сенсорам тиску, які широко використовуються в різних галузях науки та техніки [4, 5]. Тензочутливість напівпровідникових тензодатчиків у 50–60 разів більша, ніж дротяних [6]. Одним з таких перспективних напівпровідникових матеріалів для тензодатчиків є кремній, який був і залишається основним матеріалом мікроелектроніки [2, 7]. Це пояснюється рядом його унікальних фізичних та хімічних властивостей, таких як доступність, відносно низька вартість, добре розроблена технологія очищення, обробки та легування, що забезпечує високу ступінь кристалографічної досконалості виготовлених структур. Дослідження радіаційної стійкості кремнію важливе з точки зору довготривалої роботи приладів на його основі на атомних реакторах, прискорювачах ядерних частинок, в космосі, тощо [3, 5]. Необхідність створення радіаційно стійких сенсорів для вимірювання механічних величин (деформації, тиску та ін.) обумовлена потребами ряду областей науки і техніки [8]. У зв'язку з цим становить значний науковий інтерес дослідження впливу γ -опромінення на електричні характеристики монокристалів кремнію.

Основне завдання та одержані результати роботи. Метою дослідження є отримання взаємозв'язків між дефектною структурою монокристалів n-Si, створеною за рахунок γ -опромінення, та електричними і тензоелектричними властивостями даних монокристалів. Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати наступні задачі:

1. На основі вимірювань ефекту Холла визначити концентрацію та рухливість носіїв струму в опромінених γ -квантами монокристалах кремнію, легованих домішкою фосфору, концентрацією $N_d = 1,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, при температурі рідкого азоту та кімнатній.
2. Дослідити тензорезистивний ефект при одновісному тискові вздовж кристалографічного напрямку [100] для неопромінених та опромінених різними дозами γ -квантів монокристалів n-Si при даних температурах.
3. Одержати залежності коефіцієнта тензочутливості від одновісного тиску для даних монокристалів n-Si.

Концентрація та рухливості електронів, визначені на основі вимірювань ефекту Холла для неопромінених та γ -опромінених монокристалів n-Si, представленні в табл. 1. Слід відмітити, що для досліджуваних доз γ -опромінення не відбувалась n-p-конверсія типу провідності кремнію.

Таблиця 1.

Результати холлівських вимірювань для досліджувальних зразків n-Si

Температура вимірювань	T=290 К			T=77 К		
	Доза опромінення Φ, P	0	$5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^8$	0	$5 \cdot 10^7$
Концентрація електронів n, см^{-3}	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$9 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^{11}$
Рухливість електронів $\mu, \text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	1900	1880	1580	20800	19900	9600

Згідно з табл. 1, при збільшенні дози γ -опромінення зменшується концентрація та рухливість електронів в монокристалах n-Si. Значне зменшення концентрації електронів при T=77 К для опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^8 \text{ P}$ монокристалів n-Si пов'язане з утворенням при γ -опроміненні різного роду радіаційних дефектів з акцепторними глибокими рівнями (в різних концентраціях), які можуть локалізувати електрони. Як відомо [9], до таких дефектів можуть належати А- та Е-центри, дивакансії, комплекси VOiP та CiOi, інші складні комплекси, до складу яких входять вуглець та кисень. Проте, в даній роботі природа утворених в n-Si радіаційних дефектів не встановлювалась, оскільки це не було метою дослідження. Зростання температури до T=290 К призводило до іонізації рівнів утворених радіаційних дефектів та відповідно до зростання концентрації електронів. Дані дефекти будуть виконувати роль компенсуючих центрів по відношенню до основних носіїв струму. Тому збільшення концентрації таких центрів при зростанні дози γ -опромінення призводило до утворення градієнтів питомого опору та відповідно до зменшення рухливості електронів [10].

На рис. 1 та рис. 2. представлені результати досліджень тензорезистивного ефекту для неопромінених та опромінених різними дозами γ -квантів монокристалів n-Si при T=77 К та T=300 К, коли одновісний тиск направлений вздовж кристалографічного напрямку [100].

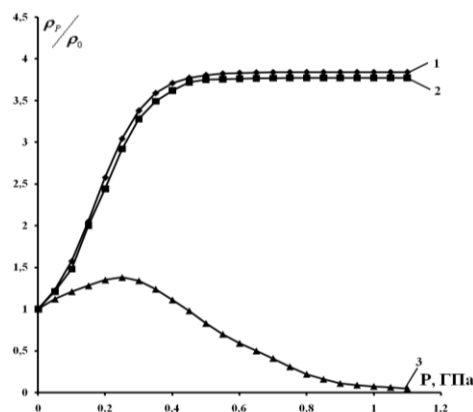


Рис. 1. Тензорезистивний ефект монокристалів n-Si при одновісному тиску P//[100] та T=77 К для різних доз γ -опромінення Φ, P : 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^7$; 3 – $5 \cdot 10^8$.

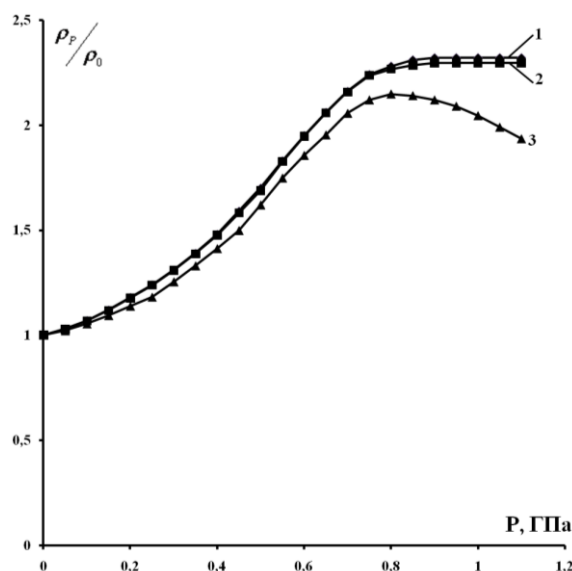


Рис. 2. Тензорезистивний ефект монокристалів n-Si при одновісному тискові P//[100] та T=290 К для різних доз γ -опромінення Φ , P: 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^7$; 3 – $5 \cdot 10^8$.

Оскільки концентрація електронів для неопромінених та для γ -опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^7$ Р монокристалів n-Si в широкому температурному інтервалі практично залишається сталою, то наявність тензорезистивного ефекту для даних випадків (рис. 1 та рис. 2, криві 1, 2) пояснюється зменшенням рухливості електронів при збільшенні одновісного тиску. Як відомо [10], при одновісному тискові вздовж кристалографічного напрямку [100] в кремнії відбувається перерозподіл електронів між двома долинами зони провідності з меншою рухливістю, які опускаються вниз, та чотирма долинами з більшою рухливістю, які піднімаються вгору, при деформації. Це призводить до зменшення ефективної рухливості та відповідно до зростання питомого опору. Зменшення питомого опору при переході через максимум залежності $\rho_P/\rho_0 = f(P)$ для γ -опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^8$ Р монокристалів n-Si (рис. 1 та рис. 2, криві 3) пов'язане з іонізацією глибоких рівнів радіаційних дефектів за рахунок деформації, внаслідок чого концентрація електронів зростає.

Технічним параметром, який характеризує тензочутливість матеріалу є коефіцієнт тензочутливості. Коефіцієнт тензочутливості при одновісній деформації виражається виразом [10]:

$$S = \frac{E_{Ю} \left(\frac{\rho_P}{\rho_0} - 1 \right)}{P}, \quad (1)$$

де $\frac{\rho_P}{\rho_0}$ – відношення питомого опору деформованого зразка до недеформованого, $E_{Ю}$ – модуль Юнга. Для кремнію при одновісному тискові вздовж кристалографічного напрямку [100] $E_{Ю} = 1,3 \cdot 10^{11}$ Па [12].

Враховуючи обчислене значення модуля Юнга та експериментальні результати тензорезистивного ефекту монокристалів n-Si (рис. 1 та рис. 2), можна отримати залежності коефіцієнта тензочутливості від одновісного тиску для неопромінених та γ -опромінених монокристалів n-Si (рис. 2.4 та рис. 2.5). Як слідує з рис. 2.4 (крива 1), максимальне значення коефіцієнта тензочутливості ($S=1060$) можна досягнути при одновісному деформуванні $P \sim 0,3$ ГПа для неопромінених монокристалів n-Si вздовж кристалографічного напрямку [100]. При більших тисках коефіцієнт тензочутливості монотонно зменшується. Незначне зменшення величини максимуму коефіцієнта тензочутливості спостерігається для γ -опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^7$ Р монокристалів n-Si. При збільшенні дози опромінення n-Si до $\Phi=5 \cdot 10^8$ Р величина коефіцієнта тензочутливості в досліджуваному діапазоні одновісних тисків значно зменшується. Крім того, для даного випадку коефіцієнт тензочутливості зменшується при

одновісному тискові до 0,8 ГПа і при більших тисках залишається практично сталим (рис. 3, крива 3).

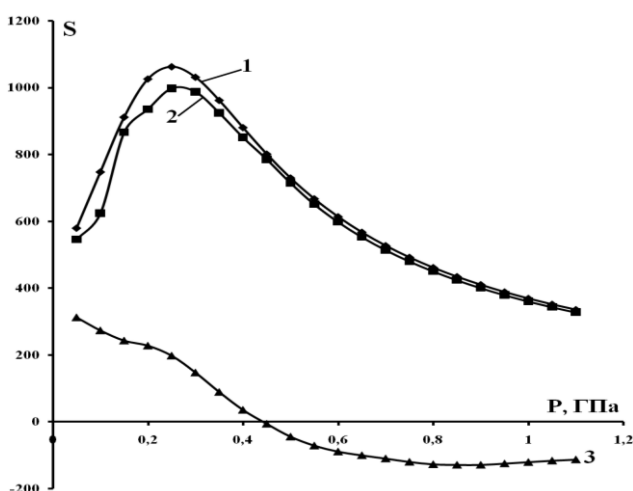


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тензочутливості *n*-Si від одновісного тиску $P//[100]$ при $T=77$ К для різних доз γ – опромінення Φ , P: 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^7$; 3 – $5 \cdot 10^8$.

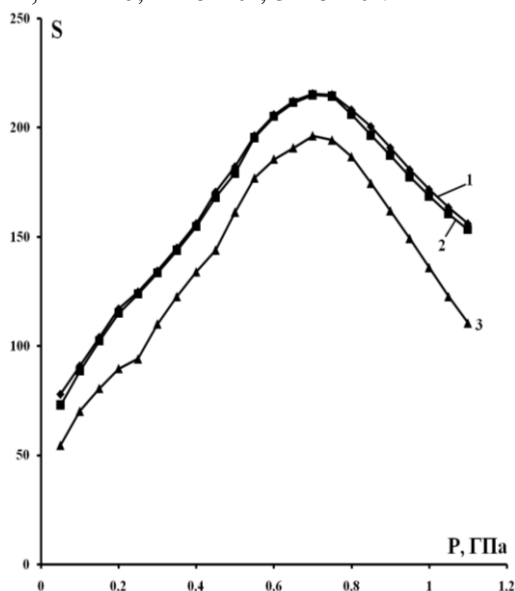


Рис. 4. Залежність коефіцієнта тензочутливості *n*-Si від одновісного тиску $P//[100]$ при $T=290$ К для різних доз γ – опромінення Φ , P: 1 – 0; 2 – $5 \cdot 10^7$; 3 – $5 \cdot 10^8$.

При підвищенні температури до кімнатної для неопромінених та γ -опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^7$ Р монокристалів *n*-Si величина максимуму коефіцієнта тензочутливості практично однакова (рис. 4, криві 1 та 2). Незначне зменшення даного максимуму спостерігається для дози $\Phi=5 \cdot 10^8$ Р.

Висновок

1. Результати вимірювань ефекту Холла показують, що при збільшенні дози γ -опромінення зменшується концентрація та рухливість електронів в монокристалах *n*-Si. Суттєве зменшення концентрації електронів при $T=77$ К для опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^8$ Р монокристалів *n*-Si пов'язане з утворенням при γ -опроміненні значної концентрації радіаційних дефектів з акцепторними рівнями, які можуть локалізувати електрони.

2. Встановлено, що збільшення температури та дози γ -опромінення призводить до зменшення величини тензоопору та коефіцієнта тензочутливості для *n*-Si, одновісно деформованого вздовж кристалографічного напрямку $[100]$.

3. Для доз γ -опромінення $\Phi < 5 \cdot 10^7$ Р наявність тензорезистивного ефекту в *n*-Si в даних умовах пояснюється зменшенням рухливості електронів при одновісному тискові. Зменшення

питомого опору при переході через максимум залежності $\rho_p / \rho_0 = f(P)$ для γ -опромінених дозою $\Phi=5 \cdot 10^8$ Р монокристалів *n-Si* пов'язане із зростанням концентрації електронів за рахунок іонізації радіаційних дефектів при деформації.

4. Отриманні залежності тензоопору та коефіцієнта тензочутливості дозволили встановити, що *n-Si* при кімнатній температурі є радіаційно стійким до доз γ -опромінення $\Phi < 5 \cdot 10^7$ Р. Дані результати можуть бути використанні для конструювання радіаційно стійких сенсорів тиску, які працюватимуть в полях підвищеної радіації.

Інформаційні джерела

1. Углов В. В. Радиационные эффекты в твердых телах. Минск: БГУ, 2007. 167 с.
2. William Andrew. Handbook of silicon based MEMS materials and technologies, edited by M. Tilli, M. Paulasto-Krockel, T. Motooka [and others]. 2015. 826 p.
3. Applications of Ionizing Radiation in Materials Processing: Vol. 1. Y. Sun, A. G. Chmielewski. Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 2017. 244 p.
4. Low-temperature semiconductor mechanical sensors. I. Maryamova, A. Druzhinin, E. Lavitska. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2000. V. 85(1-3). P. 153–157.
5. Radiation Resistance of MEMS Sensors and Methods of Its Estimation. A.I. Vlasov, S. Mileshin, T.A. Tsivinskaya. *Problems of Perspective Micro- and Nanoelectronic Systems Development*. 2018. V. 4. P. 190–196.
6. Вплив тиску на параметри напівпровідникових структур. В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, Н.Л. Білоконь, А.О. Кривошея. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2009. №1. С. 1–5.
7. Semiconductor Silicon Crystal Technology / S. Fumio. Elsevier Science & Technology, 2012. 435 p.
8. Исследование влияния электронного облучения на кремниевые тензорезисторы. А.А. Дружинин, И. И. Марьямова, А. П. Кутраков, Н.С. Лях – Кагуй, В. Т. Маслюк, И. Г. Мегела. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2010, Т.1. С. 26–29.
9. Specific features of defect formation in the *nSi* single crystals at electron irradiation / S. Luniov, A. Zimych, M. Khvyshchun, M. Yevsiuk, V. Maslyuk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, № 12(96). P. 35–42.
10. Mechanisms of electron scattering in uniaxially deformed silicon single crystals with radiation defects. S. V. Luniov, V. V. Lyshuk, V. T. Maslyuk, O. V. Burban. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2019. V. 56(5). P. 45–57.
11. Електронне перенесення в напівпровідниках та напівпровідникових структурах / В. П. Савчин, Р. Я. Шувар. Л.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. 687 с.
12. Полякова А. Л. Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов. М.: Наука, 1979. 168 с.

Luniov S. V., Tsyz A. I.

Lutsk National Technical University

ELECTRICAL AND TENSOELECTRICAL PROPERTIES OF THE γ -IRRADIATED *n-Si* SINGLE CRYSTALS

*The electrical properties and tensoresistive effect at the uniaxial pressure along the crystallographic direction [100] for unirradiated and γ -irradiated silicon single crystals, doped by the phosphorus impurity were investigated at the liquid nitrogen and room temperature. Based on measurements of the Hall effect, it was established that increasing the dose of γ -irradiation is decreasing the concentration and mobility of electrons in *n-Si* single crystals. A significant decrease of the electron concentration at $T=77$ K for irradiated *n-Si* single crystals by the dose of $\Omega=5 \cdot 10^8$ R is associated with the formation at γ -irradiation of a significant concentration of the acceptor levels of radiation defects (A- and E-centres, divacancies and others). For doses of γ -irradiation $\Omega < 5 \cdot 10^7$ R, the presence of the tensoresistive effect of *n-Si* is explained by the decrease in the electron mobility under the uniaxial pressure since the electron concentration practically remains constant. The decrease in resistivity at the transition through the maximum dependence for the γ -irradiated *n-Si* single crystals by the dose of $\Omega=5 \cdot 10^8$ R is associated with the increasing electron concentration due*

to ionization of the local levels of radiation defects with increasing the uniaxial pressure. Experimental measurements of the Hall effect and tensorial resistive effect correlate well with the obtained dependences of the tensorial sensitivity coefficient. From the analysis of these dependencies, it follows that an increase in temperature and dose of γ -radiation leads to a decrease in the tensorial sensitivity coefficient of n-Si. The obtained results can find their practical application for the design of radiation-resistant pressure sensors based on n-Si single crystals.

Key words: *n-Si single crystals, γ -irradiation, strain-resistance effect, strain-sensitivity coefficient, uniaxial pressure, electron mobility.*

УДК 004.9

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-11

Марчук В.І., Марчук І.В., Лук'янчук Ю.А., Тулашвілі Ю.Й.

Луцький національний технічний університет

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ

В даній статті розглянуто питання вивчення 3D-технологій в Україні в попередні роки та можливість покращення цієї ситуації в подальшому. Проведено дослідження навчального процесу відповідних фахівців галузі. Проведено розробку змісту навчальної підготовки для фахівців 3D-друку. Описано досвід використання 3D-технологій та складено перелік рекомендацій для усунення дефектів під час виготовлення виробів за допомогою адитивних технологій.

Ключові слова: програмне забезпечення, навчальна підготовка, формальна, неформальна та інформальна освіта, дефекти 3D-друку, 3D-технології.

Сучасне інформаційне суспільство все більше спирається на використання автоматизованого і роботизованого обладнання, технологій швидкого прототипування (таких як 3D-друк) і програмних засобів конструювання технічних об'єктів. Сьогодні ІТ-індустрія потребує кваліфікованих фахівців, що володіють сучасними технологіями, засобами, обладнанням. Серед таких – спеціаліст, що створює на комп'ютері моделі виробів, після чого вони виготовляються на автоматизованому обладнанні. Спеціаліст такого профілю – людина креативна, ентузіаст-проектувальник, який критично мислить, володіє винахідливістю, спеціальними знаннями та уміннями.

В умовах сучасного ринку і постійного зростання конкуренції якнайшвидше створення інноваційного продукту є життєво важливим для успішного розвитку будь-якого підприємства. Світові виробники розуміють, що в стрімко мінливому світі, щоб бути на лідируючих позиціях, треба максимально оперативно втілювати нові ідеї в працездатні рішення. Це неможливо без генерації цих ідей і без нових технічних рішень для якнайшвидшого їх втілення в життя. Тому розвиток інноваційного мислення має стати пріоритетним завданням сучасних закладів, а використання технології 3D-друку може бути одним з кращих технічних рішень для прискорення реалізації різних нових ідей в життя.

У зв'язку з цим актуальним є питання формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці доцільним є вивчення основ 3D-друку, а також досвіду практикуючих спеціалістів.

Провідні світові навчальні центри розуміють, що 3D-принтер - це відмінний інструмент для підготовки фахівців. І тому процеси впровадження 3D-технологій в європейських університетах відбувається швидкими темпами.

Використання 3D-друку в університетах допоможе розвивати творчі здібності та задовольняти інтелектуальну цікавість серед студентів, готувати їх до реального життя. Вони зможуть швидко розвивати свої ідеї, впроваджувати свої проекти в життя, комбінувати матеріали, які вони ніколи раніше не пробували, і створювати дивовижні об'єкти з високою точністю, деталізацією і рухомими частинами.

Обсяг світового ринку технологій адитивного виробництва (3D-друку) в 2018 р, досяг 12,8 млрд доларів США, що майже в 2,5 рази вище рівня 2015 року (5,2 млрд доларів). При цьому, згідно з прогнозами експертів, до кінця 2022 р обсяг ринку 3D-друку досяг 26,5 млрд доларів США. Розвиток технологій 3D-друку і їх висока перспективність робить особливо актуальним питання їх застосування в навчальній діяльності: оскільки система освіти покликана готувати майбутні покоління до життя в умовах інформаційного суспільства та цифрової економіки, то впровадження передових інформаційних технологій в освітній процес набуває першорядної важливості.

Незважаючи на значне відставання в освоєнні даної технології, темпи зростання вітчизняного ринку 3D-принтерів і пов'язаних з ними сервісів вражають. За прогнозами фахівців, до 2022 року український ринок 3D-друку може зрости у зв'язку із різким здешевленням 3D-принтерів. У найближчі кілька років в Україні прогнозується зростання інтересу до тривимірного друку.

Закордонний досвід передбачає не лише вивчення теорії та практики 3D друку, а й можливість застосування обладнання та технологій в нових сферах. В дослідженнях

H.N.Pandya [1] описано основи роботи з адитивними технологіями та запропоновано отриманий досвід навчальним закладам, як навчальний матеріал для підготовки фахівців 3D друку. Ніколи раніше споживачі не мали технології, за допомогою якої можна легко перетворити ідею концепції в об'єкт, до якого можна доторкнутися, не турбуючись про наявне обладнання чи таланти. Технологія 3D-друку створює деталі шляхом додавання матеріалів по одному шару на основі комп'ютеризованої 3D-моделі твердого тіла. Це дозволяє оптимізувати дизайн і виготовляти індивідуальні деталі за вимогою.

Ще одне дослідження світового досвіду використання адитивних технологій описано Sabrie Soloman [2]. Автор показує, як змінюється промисловість на міжнародному ринку. Як приклад взято біоінженерію, оскільки ця галузь стрімко розвивається саме завдяки 3D технологіям. Звільнене від обмежень традиційних фабрик, адитивне виробництво дозволяє дизайнерам виготовляти деталі, які раніше вважалися занадто складними для економічного виготовлення. Інженери та біологи знаходять практичне застосування для використання 3D-адитивного виробництва. Це дозволяє новим конструкціям стати неймовірно рідкісними продуктами, які не могли б бути досягнуті попередніми методами виробництва. Технологія 3D-друку готова перетворити медицину та біологію за допомогою біовиробництва та традиційного виробництва в 3D-друк. Ця технологія має можливість підвищити добробут громадян країни. Адитивне виробництво може покращити світові ресурси та енергоефективність у «Наземному, морському та повітрі». Переваги адитивних технологій перед звичайним виробництвом захопили увагу громадськості, що відображено в останніх корпоративних впровадженнях і в багатьох академічних публікаціях, які називають адитивне виробництво «Четвертою промисловою революцією».

Світовий досвід навчання фахівців 3D технологій є дуже різноманітним, проте в першу чергу передбачає безліч платформ, де люди діляться власним досвідом [3, 4]. Нами зібрано ресурси, які є актуальні на сьогоднішній день. Цей перелік буде корисним, як новачкам, так і спеціалістам галузі.

З рештою, передовий досвід адитивних технологій описано в книзі, яка була повністю виготовлена за допомогою 3D-друку [5]. Genius 100, світова спільнота науковців, які займаються вирішенням важливих питань іновачій розробили першу у світі 3D-книгу: «Genius: 100 vision of future». Примірник присвячено до проекту «Спадщина Альберта Ейнштейна». Перед розробниками була задача виготовити книгу, яка демонструє новітні технологічні можливості, а також досвід 100 найвидатніших інтелектуалів та новаторів зі всього світу. Дизайнером книги став художник та архітектор Рон Арад, який наразі описує адитивне виробництво, як технологію майбутнього. В написанні книги приймали участь світові лідери в галузях науки, підприємництва, мистецтва, медицини, освіти, технологій та меценатства, а також інші видатні люди, серед яких 12 нобелівських лауреатів.

Цікавим є той факт, що прототип книги меншого розміру був надрукований в космосі, що доводить можливість використання адитивних технологій також поза межами нашої планети.

Український досвід навчання фахівців 3D-друку, на превеликий жаль, ще дуже мінімальний [6, 7]. Виробництво лише у великих містах переходить до адитивних технологій, переймаючи світові надбання, оскільки є необхідність безперервної автоматизації. Відповідні фахівці навчаються переважно самостійно шляхом набуття власного досвіду, через що перехід до новацій відбувається вкрай повільно. Під час освоєння нової технології використовується не вітчизняна література, а переклади світового досвіду на подібну до нашої мови.

Проте важливість вивчення адитивних технологій, з рештою, стає актуальним питанням на сьогоднішній день в Україні. Існує чимало публікацій про це, проте основна література представлена лише у вигляді посібників по використанню 3D принтера. Вітчизняний досвід освоєння адитивних технологій відбувається за рахунок закордонних інвесторів.

Компанія сучасного навчального обладнання Elizlabs подарувала Новопечерській школі Києва «3D техно лабораторію» [8]. Завдяки використанню 3D технологій в навчальному закладі діти вчать досліджувати нові предмети та поглиблювати своє розуміння складних концепцій.

Важливість навчання фахівців адитивних технологій є необхідністю на сьогоднішній день в Україні. Також важливо зменшити період вивчення, оскільки виробництво швидко переходить до автоматизації та новацій, а відповідних фахівців галузі є недостатньо.

Як видно із описаних технологій та досвіду, наразі дуже важливим є формування навичок у майбутнього фахівця саме з 3D-технологій. Тому у навчальному закладі є особливо

важливим вивчення питання 3D-моделювання, прототипування та 3D-друку. Хоча кожна технологія має свої особливості застосування, існує ряд спільних факторів для кожної з них.

Фахівець з 3D-друку повинен мати компетентності в багатьох галузях освіти, проте безумовними мають бути знання в декількох основних сферах, які передбачають вивчення наступних матеріалів, а саме: технології роботи обладнання, вивчення необхідних ресурсів для роботи, програмне забезпечення та інше.

Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM/FFF), або екструзії, було розроблено С. Скоттом Трапом в кінці 1980-х років і отримало комерційне поширення в 1990 році силами компанії Stratasys, в числі засновників якої значиться сам Трап.

У зв'язку із закінченням терміну дії патенту існує велика кількість розробників 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом, а також комерційних організацій, що використовують дану технологію. Як наслідок вартість пристроїв зменшилася на декілька порядків з часу винаходу технології.

Процес друку методом пошарового наплавлення – це створення шарів за рахунок екструзії матеріалу, що швидко застигає у вигляді мікрокрапель або тонких струменів. Екструдер нагріває матеріал до температури плавлення з подальшим видавлюванням розплавленої маси через сопло. Сам екструдер приводиться в рух кроковими двигунами або сервомоторами, що забезпечують позиціонування друкованої головки в трьох площинах. Переміщення екструдера контролюється виробничим програмним забезпеченням, прив'язаним до мікроконтролеру.

Як найбільш поширений і комерційно доступний спосіб тривимірного друку, метод пошарового наплавлення має широкий спектр витратних матеріалів (філаментів). В якості витратних матеріалів для екструзії друку використовуються різні види полімерів, включаючи акрилонітрілбутадієнстірол (ABS), полікарбонат, полілактид (PLA), поліетилен високого тиску (PETG), суміші полікарбонату і ABS-пластика, поліфеніленсульфон і ін. Полімер поставляється в формі наповнювача, виготовленого з чистого пластика.

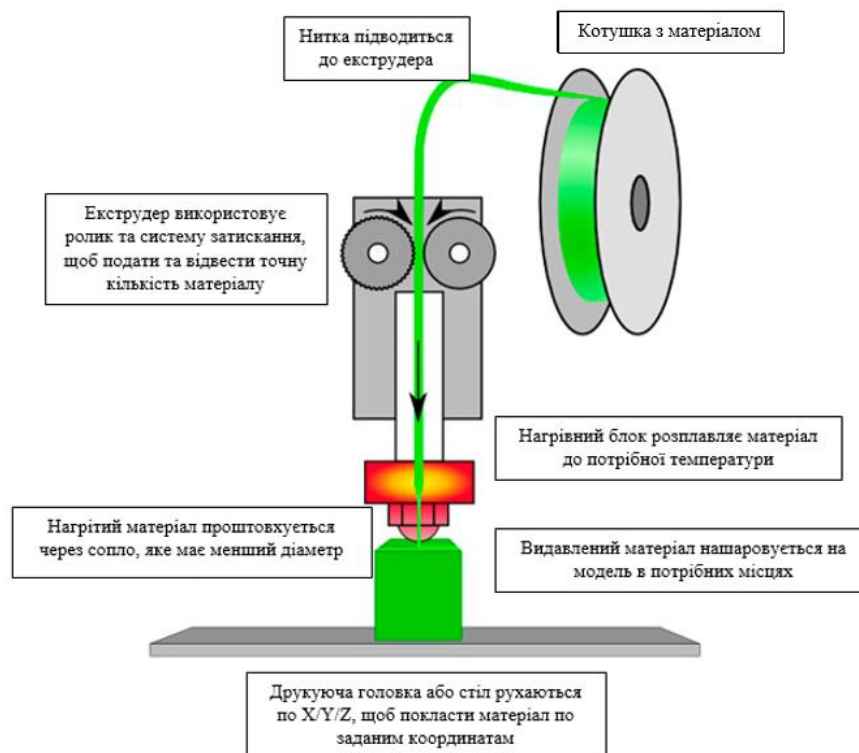


Рис. 1. Схема пристрою 3D-принтера екструзивного типу

Враховуючи досвід використання FDM технології та проведення безлічі експериментальних досліджень протягом останніх років, авторами запропоновано узагальнення щодо основних дефектів, які виникають в процесі 3D друку, а також їх опис та шляхи усунення. Такі рекомендації варто враховувати при роботі із відповідним обладнанням адитивних технологій.

Дефекти 3D друку це доволі часте явище. Вони виникають внаслідок багатьох чинників, які можна поділити на функціональні та не функціональні. Перші причини можна виправити шляхом маніпуляцій із 3D принтером, навіть в процесі друку. Інші фактори, що негативно впливають на якість друку можна виправити в налаштуваннях «слайсера» або ж неможливо виправити взагалі.

Кожен із видів дефектів має місце практично при кожному процесі друку та вносить свої зміни до кінцевого продукту. Тому досвідчений фахівець з адитивних технологій, а особливо з 3D друку, повинен врахувати їх на етапі моделювання об'єкту виготовлення та мінімізувати їх вплив.

Таблиця 1

Причини появи дефектів							
Функціональні			Не функціональні				Не відповідність приміщення
Дефект и першого шару	Дефект и верхніх шарів	Дефект и в процесі друку	Кваліфікація оператора	Дефект пластику	Дефект «слайсера»	Перебої електроенергії	
Відклеювання першого шару	Зміщення шарів в моделах Інші дефекти першого шару Зміщення першого шару	Верхньому шарі тріщини на високій швидкості	Недостатньо досвіду Перекструзія Недостатня вологість на моделі Отвори на моделі	На виробництві	Зберігання програмного продукту	Не відповідна версія програмного продукту	Протяги Вологість Температура
	Пропущені шари		Недостатня вологість на моделі Отвори на моделі			Немає відповідної версії програмного продукту	Виглове вимкнення електрики Налаштування для визначеного типу



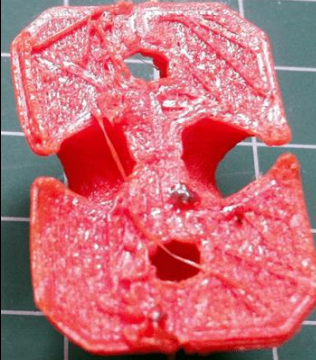
Загалом, не функціональні дефекти враховуються на етапі проектування виготовлення виробу та зменшити їх вплив можливо лише при якісній підготовці відповідного фахівця, а саме:


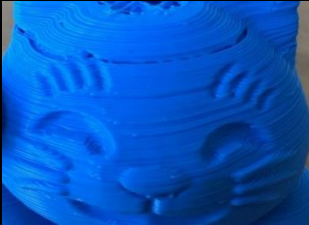
1. Постійне підвищення кваліфікації оператора 3D принтера (необхідне розуміння того, як буде друкатись виріб ще на етапі моделювання, щоб зменшити появу дефектів);
2. Враховувати, що пластик дуже чутливий до вологості повітря, тому його потрібно зберігати в сухому місці та максимально ізольованим від впливу повітря (неправильне зберігання призводить до втрати хімічних властивостей пластику, а, відповідно, і до появи механічних пошкоджень обладнання під час друку, що призводить не тільки до появи дефектів виробу, а й виведення з ладу основних компонентів самого 3D принтера);
3. Налаштування «слайсера» повинні відповідати тому пластику, який використовується в 3D принтері (кожен виробник пластику вказує умови друку);
4. Своєчасне оновлення програмного продукту (програмне забезпечення постійно вдосконалюється і багато налаштувань стає автоматичними, що покращує якість 3D друку);
5. Враховувати, що обладнання повине бути забезпеченим випрамлячем напруги та безперебійним джерелом живлення (коли відбувається вимкнення електроенергії, тоді виникає збій програми друку), у 85% випадків це призводить до програмного зміщення осей координат під час друку, а, відповідно, до такого дефекту, як зміщення шарів.
6. Враховувати, що приміщення, в якому знаходиться обладнання має мати стабільні показники температури, вологості, а також кондиціонування повітря (оскільки налаштування 3D друку змінюються залежно від пори року).

Проблеми з друком відбуваються доволі часто. Фахівець у цій галузі повинен розуміти, від чого залежить поява дефектів на моделі та можливі шляхи їх усунення. У таблиці 2 описано найтипівші функціональні проблеми 3D друку.

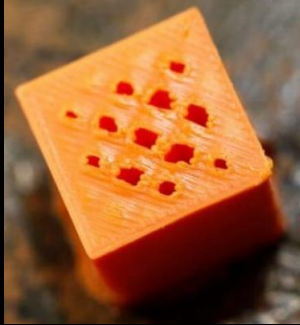
Таблиця 2

Основні функціональні дефекти 3D друку

<p>1. Відклеювання першого шару</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>Основа моделі деталі підводиться і не прилипає до платформи. Ця проблема також може спровокувати горизонтальні тріщини у верхніх шарах моделі.</p> <p>Деформація основи деталі відбувається через особливості пластика. ABS і PLA пластик охолоджується дуже швидко і саме це може призвести до відклеювання першого шару.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Використовувати платформу з підігрівом. Рекомендована температура для пластика вказана на упаковці або катушці. 2. Використовувати клей. Нанести тонкий шар клею (або лаку для волосся) на платформу, щоб збільшити прилипання (адгезію). 3. Використати іншу платформу. Змінити на платформу з більшою адгезією. 4. Необхідність калібрування платформи. Перевірити рівень платформи. 5. Збільшити контакт між моделлю і платформою. 6. Оптимізувати налаштування температури. Збільшити температуру платформи на 5°C. 7. Налаштування вентилятора. Вентилятори повинні перемикатися на повну потужність як тільки деталь досягає висоти 0,5 мм.
<p>2. Зміщення першого шару (нога слона)</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>Основа моделі трохи зміщена</p> <p>Основа моделі зміщується через вагу деталі, яка тисне на перший шар коли нижні шари ще не встигли охолонути.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Правильний баланс. Зниження температури платформи на 5°C (але не більше ніж на 20°C від рекомендованої температури). Якщо Bottom/Top Thickness встановлено на 0,6мм, необхідно ввімкнути вентилятор на висоті нижче. 2. Калібрування платформи. 3. Підняття сопла. 4. Зробити кути моделі більш плавними. Почати з 5мм і 45° скосу і до досягнення кращого результату.
<p>3. Інші дефекти першого шару</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Перший шар виглядає неправильно, деякі фрагменти відсутні. В основі є непотрібні лінії.</p> <p>Такі проблеми з 3D друком вказують на те, що рівень платформи не правильно встановлений. Якщо сопло знаходиться занадто далеко від платформи, внизу моделі часто з'являються непотрібні лінії або перший шар не прилипає. Якщо ж сопло знаходиться дуже близько до платформи, це може спровокувати утворення бульбашок.</p> <p>Платформа повинна бути чистою. Відбитки пальців на платформі можуть призвести до того, що перший шар не буде приклеюватись до платформи.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Провести калібрування платформи. 2. Встановити висоту сопла. Якщо сопло розташоване занадто високо, пластик не буде

<p>4. Зміщення шарів в моделі</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>приклеюватись до платформи, якщо занадто низько - сопло буде стикатись із моделлю.</p> <p>3. Очистити платформу. Обов'язково регулярно потрібно чистити платформу принтера. Відбитки пальців, пил і залишки клею впливають на якість приклеювання моделі до платформи.</p> <p>4. Використовувати клей (лак). Нанести тонкий шар клею на платформу, щоб збільшити зчеплення моделі з платформою.</p> <p>5. Використовувати текстуровану підкладку для платформ принтерів, які не нагріваються.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<p>Шари зміщуються в середині моделі</p> <p>Ремені принтера не туго закріплені. Верхня пластина не прикріплена і рухається незалежно від нижньої пластини. Один з направляючих по осі Z не ідеально рівний.</p> <p>1. Перевірити ремені. Перевірити наскільки туго натягнуті ремені: вони не повинні висіти вільно, але і не повинні бути занадто затягнуті.</p> <p>2. Перевірте гвинти по осі Z. Багато виробників принтерів частіше використовують різьбові шпильки замість трапецеїдальних гвинтів і хоча обидва виконують свою роботу, різьбові шпильки мають тенденцію з часом гнутися.</p>
<p>5. Пропущені шари</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причини виникнення</p>	<p>Пропуски в моделі з'являються через те, що деякі шари не знайдені (частково або повністю).</p> <p>Принтер не зміг видавити необхідну кількість пластику для друку відсутніх шарів.</p> <p>Тертя може спровокувати застрягання пластика.</p> <p>1. Механічна перевірка. Необхідно перевірити гвинти (шпильки) і переконатись, що вони щільно прикріплені до підшипниками.</p> <p>2. Перевірка вирівнювання гвинтів. Переконатись, що всі гвинти (шпильки) вирівняні і не зміщені.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<p>3. Зношені підшипники. Зношені підшипники видають шум.</p> <p>4. Перевірити змащування. Необхідно регулярно змащувати рухомі механізми принтера. Для змащення ідеально підходить масло для швейних машинок.</p>
<p>6. Тріщини на високих об'єктах</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причина виникнення</p>	<p>5. Недостатня екструзія.</p> <p>Тріщини з боків моделі, найчастіше в високих моделях</p> <p>Проблема найчастіше виникає у великих принтерах.</p> <p>На верхніх шарах матеріал охолоджується швидше, оскільки тепло від платформи не досягає необхідної висоти. Через це адгезія верхніх шарів нижче.</p> <p>1. Температура екструдера. Збільшити температуру екструдера на 5-10°C.</p>
	<p>Усунення дефекту</p>	<p>2. Напрямок та швидкість вентилятора. Перевірити вентилятори і переконатись, що вони спрямовані на модель. Якщо напрямок правильний, зменшити їх швидкість.</p>

7. Отвори на верхньому шарі



Опис проблеми
Причина виникнення

Усунення дефектів

Отвори та щілини на верхній поверхні деталі.

Неправильне охолодження верхнього шару.
Недостатньо товстий верхній шар.

1. Діаметр нитки (філаменту). Найчастіше проблема трапляється з пластиком діаметра 1.75 мм.

2. Перевірити розташування вентилятора. Коли принтер починає друк, вентилятори встановлені на мінімальну швидкість або взагалі вимкнені. Після друку першого шару, вентилятори починають працювати.

3. Встановити швидкість вентилятора в G-Code. Швидкість обдування може бути відрегульована за допомогою G-Code (як правило, G-Code для Fan On це M106 і M107 Fan Off). Також встановити швидкість вентилятора на максимум для верхніх шарів.

4. Збільшити товщину верхнього шару.

Налаштувати товщину за допомогою розширених налаштувань 'Bottom/Top Thickness setting'.

Необхідно збільшити товщину верхнього і нижнього шару до 6 раз (крат) в порівнянні з іншими шарами і до 8 для менших сопел і пластика.

Якщо висота шару дорівнює 0,1мм, то висота верхнього і нижнього шарів повинна бути 0,6мм.

При друку утворюються «павутинки» або «волоски» між елементами моделі.

Коли головка принтера переміщується по відкритій поверхні (без екструзії), тобто переходить з одного об'єкта на інший, пластик стікає з сопла.

1. Увімкнути втягування (відкат/retract).

2. Мінімальна дистанція (мм). Якщо втягування не працює правильно, найпростіший спосіб це виправити - це зменшити мінімальну дистанцію. Знизити її на 0,5мм поки ворсистість не зникне.

Недостатня екструзія виникає, коли екструдер не може видавлювати досить матеріалу (або не може робити це досить швидко). Це призводить до того, що шари дуже тонкі, в шарах з'являються небажані проміжки або шари повністю відсутні).

Діаметр нитки може не відповідати діаметру, встановленому в слайсері.

Кількість екструдованого матеріалу може бути нижче через неправильне налаштування прошивки.

Сопло може бути засмічене.

1. Перевірити діаметр філаменту.

2. Виміряти нитку.

3. Перевірте голівку екструдера.

4. Встановити коефіцієнт екструзії. Якщо немає різниці між реальним діаметром екструзії і налаштуваннями ПО, перевірити налаштування множника екструзії (або швидкість потоку або компенсацією потоку), можливо, вони занадто низькі.

5. Відкрити вікно Edit Process Settings в

8. Волосини, павутина на моделі



Опис проблеми

Причина виникнення

Усунення дефекту


9. Недоекструзія



Опис проблеми

Причина виникнення

Усунення дефекту

<p>10. Переекструзія</p> 	<p>Опис проблеми</p> <p>Причини виникнення</p> <p>Усунення дефекту</p>	<p>Simplify3D і перейти у вкладку Extruder - коефіцієнт екструзії повинен бути встановлений на 1 що відповідає 100%. Відкрити вкладку Material в Cura і збільшити налаштування Flow.</p> <p>Надмірна екструзія означає, що принтер витискає більше матеріалу, ніж необхідно. Це позначається на тому, що на деталі є надлишки філамента.</p> <p>Коефіцієнт екструзії або потоку в слайсері занадто високий.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1. Коефіцієнт екструзії. Відкрити слайсер і перевірити, правильно обраний коефіцієнт екструзії.</p> <p>2. Налаштування (flow) потоку. Зменшити параметр Flow в налаштуваннях ПО принтера.</p> </div>
--	--	--

Інженер з 3D-друку займається технічним супроводом, роботою з обладнанням, програмним забезпеченням, створенням 3D-моделей. Фахівці повинні мати глибокі знання в галузі інженерії, програмування і математики. Професія пов'язана з спеціальностями майбутнього. Саме для таких фахівців описано практичні рекомендації щодо усунення впливу факторів, від яких залежить якість виробу, а також є необхідним вивчення практичного досвіду у цій галузі, оскільки подібні знання є основою для наступних досліджень.

Інженери 3D-друку використовують для своєї роботи різні матеріали, комп'ютерні програми і промислові 3D-принтери. Сьогодні ці фахівці потрібні в медичні центри, промисловість, авіакосмічну, машинобудівну та інші галузі. Фахівців мало тому, що в обов'язки інженера по 3D-друку входить: вибір нових матеріалів, проведення випробувань, використання сучасного програмного забезпечення для поліпшення і налаштування параметрів 3D-принтера; розробка макетів, розробка растрових зображень для подальшого друку; повний контроль над листом; вивчення нових технологій; знання правил сертифікації, вимог, що пред'являються до 3D моделей і готової продукції; розробка документації, налагодження програмного забезпечення; підбір нового обладнання, навчання інших співробітників; технічне обслуговування обладнання. Обов'язки залежать від робочого місця, але інженер по 3D-друку повинен бути фахівцем, готовим швидко освоювати нові технології та потім успішно застосовувати їх на практиці. Роботодавці пред'являють суворі інженерні вимоги, тому що зарплата таких фахівців висока. Вони повинні мати як мінімум 3 роки практичного досвіду, важливо мати технічні знання іноземної мови. Інженер з 3D-друку повинен знати основи економіки і маркетингу, адже в його обов'язки входить оптимізація робочих процесів, спрямовані на здешевлення і прискорення друку. Тому важливими будуть отримані знання із практичного досвіду, які представлені авторами.

Література

1. H.N. Pandya. 3D printing technology: fundamentals and application. 2021. 416 p.
2. Sabrie Soloman. Additive manufacturing technology – 3D printing and design – the 4th industrial revolution. 2020. 417p.
3. <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/best-3d-printing-books/>
4. <https://bookauthority.org/books/new-3d-printing-books>
5. <http://surl.li/cvsvl>
6. <http://surl.li/bybrt>
7. <http://surl.li/bybrw>
8. <https://osvitoria.media/experience/yak-3d-pryn timer-peretvoryuye-uroky-na-doslidzhennya/>

V. Marchuk, I. Marchuk, I. Lukyanchuk, Y. Tulashvili
Lutsk National Technical University

PRACTICAL EXPERIENCE IN USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

This article examines the issue of studying 3D technologies in Ukraine in previous years and the possibility of improving this situation in the future. A study of the educational process of relevant industry specialists was conducted. The content of training for 3D printing specialists has been developed. The experience of using 3D technologies is described and a list of recommendations for eliminating defects during the manufacture of products using additive technologies is compiled.

Keywords: software, training, formal, non-formal and informal education, 3D printing defects, 3D technologies

УДК 621.822.681.2:369.64

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-12

Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В.

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ ТА ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ТЕМПЕРАТУРУ ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

Анотація. В роботі розглядається дослідження температури під час шліфування поверхонь обертання зовнішніх кілець роликопідшипників. Теплові явища, що супроводжують процес шліфування, значно впливають на якість шліфованих поверхонь. Для зниження температури в зоні різання використовують переривчасті шліфувальні круги, які підвищують якість в оброблення кілець підшипників в технологічному циклі.

Ключові слова: температура, шліфування, підшипник, кільце, цикл, шліфувальний круг.

У практиці світового машинобудування відбувається постійне підвищення вимог до якості та конкурентоспроможності виробів. Питання керування якістю поверхневого шару деталей машин під час шліфування залишається актуальною проблемою сучасного підшипникового виробництва.

Оскільки, надійність та довговічність машин і механізмів визначається надійністю опор кочення, то особливо актуальною стає проблема технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик підшипників кочення, які вирішальним чином залежать від точності геометричної форми поверхонь обертання, що формуються на операціях шліфування.

В підшипниках кочення ковзальний контакт змінюється контактом кочення, завдяки чому зменшуються витрати енергії на тертя. Але конструкція підшипника кочення така, що не дозволяє повністю звільнитись від елементів, які зумовлюють наявність незначного контакту ковзання. Тому робота підшипника кочення супроводжується складним змінами, котрі впливають на динамічні характеристики підшипника [1].

До підшипників загального та спеціального призначення висувається багато вимог, які можна класифікувати на загальні та специфічні:

- До загальних вимог відносяться такі як, зменшення шумності та вібрацій, моменту опору обертання, підвищення точності виконання геометричних розмірів, збільшення довговічності, надійності, зносостійкості.
- До специфічних вимог відносять теплостійкість, корозійна стійкість, антинамагнічуваність та ряд інших вимог, особливо до підшипників, що працюють в специфічних експлуатаційних умовах.

Програма експериментальних досліджень зв'язків технологічних чинників з температурою в зоні шліфування та з якістю шліфованих поверхонь, передбачає:

- дослідження температури під час шліфування поверхонь обертання зовнішніх кілець роликопідшипників;
- застосування переривчастих шліфувальних кругів в технологічному циклі оброблення кілець підшипників.

Після проведення аналізу причин появи геометричних невідповідностей можна стверджувати, що усунення таких недоліків шляхом направлено технологічного впливу є ключовим напрямком покращення та стабілізації експлуатаційних показників поверхонь обертання роликових підшипників [3].

Теплові явища, що супроводжують процес шліфування, значно впливають на якість шліфованих поверхонь. Підвищені температури шліфування викликають дефекти в поверхневому шарі шліфованої деталі (припали, тріщини, мікроструктурні дефекти), що знижують якість деталі, у зв'язку із чим температурний чинник набуває значення одного з основних чинників процесу шліфування [2].

Основні чинники, що впливають на температуру різання під час шліфування заготовки, залежать від глибини різання t , швидкості заготовки V_{θ} , числа канавок переривчастого шліфувального круга ε .

$$\theta = f(t, V_{\theta}, \varepsilon). \quad (1)$$

У першому наближенні функцію (1) можна представити у наступному вигляді [4]:

$$\theta = C \cdot t^a \cdot V_{\theta}^b \cdot \varepsilon^c \quad (2)$$

де C – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу й умови оброблення; t – глибина різання, мм; V_{θ} – швидкість заготовки, м/хв; ε – число канавок.

В логарифмічному представленні рівняння (2) буде поліномом першого степеня:

$$\ln \theta = \ln C + a \cdot \ln t + b \cdot \ln V_{\theta} + c \cdot \ln \varepsilon \quad (3)$$

Під час переходу до безрозмірних величин у загальному вигляді рівняння (3) запишемо:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (4)$$

Експерименти проводили використовуючи методику повного факторного аналізу, тобто одночасного варіювання усіх змінних чинників, $x_1(t)$, $x_2(V)$, $x_3(\varepsilon)$. Кожна з цих змінних варіюється на двох рівнях (2^k), де k – число змінних. Визначили невідомі b_0 і коефіцієнти b_1 , b_2 , b_3 .

Вибір режимів оброблення проводився із врахуванням можливостей обладнання та граничних режимів оброблення, як це показано в табл. 1.

Таблиця 1

Режими шліфування і кодові позначення

Рівень	Режими шліфування			Кодові позначення		
	t , мм	V_{θ} , м/хв	ε	x_1	x_2	x_3
Верхній	0,4	40	36	1	1	1
Середній	0,3	30	24	0	0	0
Нижній	0,2	20	12	-1	-1	-1

За даними експериментальних досліджень і наступного статистичного оброблення результатів була отримана математична модель температури різання. Математична модель дійсна лише в межах інтервалів варіювання технологічних параметрів. Аналіз отриманої математичної залежності показав, що найбільший вплив на збільшення температури різання має збільшення глибини різання й меншою мірою – число канавок шліфувального круга (ε). Швидкість заготовки (V_{θ}) впливає на температуру різання під час шліфування, її збільшення призводить до зниження температурного впливу на поверхню, яку обробляють.

Найбільш високі значення коефіцієнта кореляції (у межах до 0,95) були отримані між температурою різання й глибиною різання оброблюваної деталі. На основі результатів досліджень, використовуючи метод найменших квадратів і властивості скалярного добутку основних векторів, кінцева формула для визначення температури різання в процесі шліфування має вигляд:

$$\theta = 611.8 \cdot t^{0.34} \cdot V_{\theta}^{-0.05} \cdot \varepsilon^{0.28} \quad (5)$$

Дисперсію адекватності моделі визначали за формулою:

$$S_{ад.}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (Y_{ej} - Y_{pj})^2}{N-1} \quad (6)$$

де Y_i – отримане значення параметра оптимізації; Y_c – середнє значення параметра оптимізації; n – кількість паралельних дослідів.

Вплив температури на якість поверхневого шару деталі під час оброблення заготовок змінюється в залежності від кількості канавок шліфувального круга. Внаслідок невисокої теплопровідності (рис.1) вплив температури розповсюджується на поверхневі шари деталі.

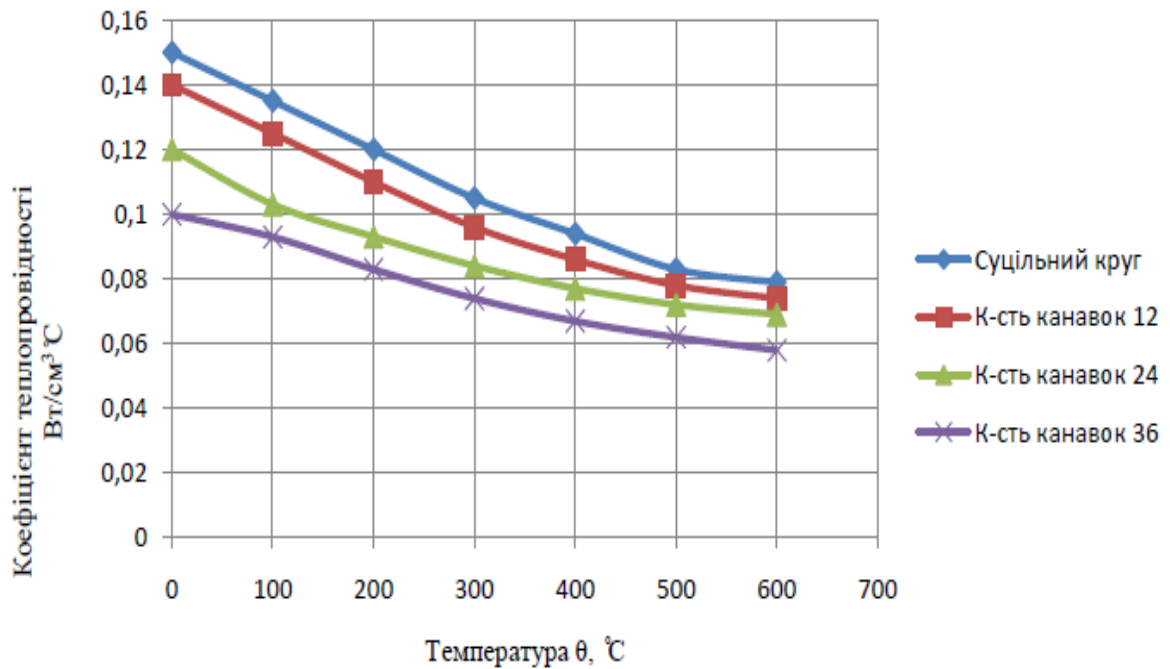
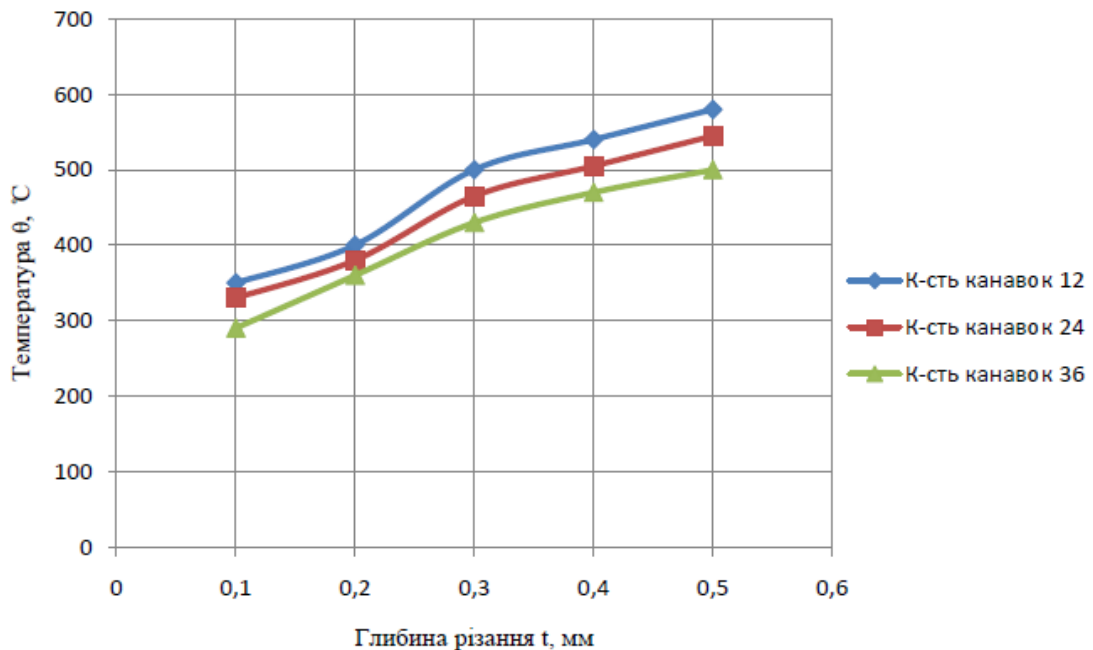


Рис. 1. Залежність теплопровідності матеріалів від температури

До особливостей процесу шліфування заготовок відноситься обмежене використання мастильно-охолоджувальної рідини, яка потрапляючи в мікротріщини заготовки змінює фізико-механічні характеристики поверхневого шару матеріалу.

Результати вимірювання температури різання залежно від глибини різання показано на рис. 2. Було встановлено, що із зростанням числа канавок зменшуються температура різання, тому що збільшується коефіцієнт теплопровідності, покращуються умови тепловідводу, що не дає температурі рівномірно розподілитися по всьому об'єму деталі.

Рис. 2. Залежність температури різання від глибини різання при $V_{\theta}=10\text{м/хв}$, $V_{кр}=35\text{м/с}$, $t=0.05\text{ мм}$

Результати, що були отримані в ході експерименту співпадають з результатами робіт, що відносяться до дослідження поверхонь обертання [2].

Висновки.

Розроблено план експериментальних досліджень зв'язків конструкторсько-технологічних чинників та показників безцентрово- шліфувальних операцій з параметрами якості шліфованих поверхонь, температурою процесу шліфування переривчастими шліфувальними кругами та конструктивними параметрами кругів.

Експериментально та теоретично досліджено вплив глибини різання, числа канавок шліфувального круга, швидкості різання та величини повздовжньої подачі на температуру шліфування.

Літературні джерела

1.Гринюк С.В. Підвищення ефективності операцій безцентрового шліфування кілець роликотидшипників в умовах серійного виробництва [Текст] : дис. кандидата технічних. наук: 05.02.08 / Гринюк Сергій Васильович; Луцький НТУ. – Луцьк, 2021. - 168 арк.

2.Гринюк С.В., Поліщук М.М. Дослідження впливу режимів різання переривчастими кругами на температуру шліфування кілець роликотидшипників // The 3 th International scientific and practical conference "MAN AND ENVIRONMENT, TRENDS AND PROSPECTS" (February 10-11, 2020) SH SCW "NEW ROUTE" Токуо, Japan 2020. 321-327 p.

3.Марчук В.І, Сачковська Л.О., Гринюк С.В. Про вплив температури шліфування на показники якості поверхонь кілець роликотидшипників // Збірник наукових праць ІХ-тої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» 3-7 лютого 2020 Львів-Плай 120-121с.

4.Марчук В. І., Гринюк С. В., Марчук І. В.Дослідження впливу режимів різання на температуру шліфування кілець роликотидшипників // Збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ» Луцьк, УКРАЇНА 28-30 травня 2022 року.

Marchuk V.I., Hryniuk S.V., Marchuk I.V.

Lutsk National Technical University

STUDY OF THE INFLUENCE OF GRINDING MODES AND PARAMETERS OF THE INTERMITTENT GRINDING CIRCLE ON GRINDING TEMPERATURE OF ROLLER BEARING RINGS

Abstract. *The paper examines the study of temperature during grinding of the surfaces of rotation of the outer rings of roller bearings. Thermal phenomena accompanying the grinding process significantly affect the quality of polished surfaces. To reduce the temperature in the cutting zone, intermittent grinding wheels are used, which increase the quality of the processing of bearing rings in the technological cycle.*

Key words: *temperature, grinding, bearing, ring, cycle, grinding wheel.*

УДК 681.51: 663.531.02

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-13

Пальчевський Б.О. д.т.н., проф., Маркіна Л.М.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ПРИГОТУВАННЯМ ЗАМІСУ В СПИРТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В статті проведено аналіз одного із ключових етапів виробництва спирту, а саме приготування замісу із зернової сировини і його водно-теплова обробка. Метою виконання цього етапу є руйнування клітинної структури зернової сировини і переведенні крохмалю в розчинний стан. Оскільки процес приготування замісу не є достатньо вивченим, то при його автоматизації, як показав досвід сучасних спиртових заводів, не забезпечується надійний контроль та регулювання параметрів процесу. Відомі системи автоматичного контролю та регулювання приготуванням замісу враховують вплив технологічних факторів тільки на концентрацію сухої речовини в замісі, залишаючи поза увагою контроль та регулювання в'язкості замісу. Оскільки в'язкість замісу визначає технологічні режими проведення теплової обробки та проведення наступних операцій, а також текучість замісу для його переміщення між ними, то було запропоновано ввести в систему контролю та регулювання приготування замісу додатковий контур для регулювання в'язкості замісу. Попередні розрахунки показали, що така двопараметрична (концентрація сухої речовини та в'язкість) система контролю та регулювання приготування замісу дозволить покращити енергетичні та ресурсні показники процесу виробництва спирту на всіх стадіях виробництва.

Ключові слова: водно-теплова обробка, заміс, в'язкість, концентрація, система автоматичного контролю та регулювання

Постановка проблеми. На сьогоднішній день спиртова промисловість одна із розвинутих галузей харчової промисловості. Технологія виробництва спирту представляє складні процеси, в яких відбуваються біохімічні, механічні та теплові процеси. Кожна стадія виробництва має за мету отримати напівпродукт відповідної якості. Технологія отримання етилового спирту із крохмалистої зернової сировини базується на ферментативному гідролізі зернового крохмалю та послідовному зброджуванні новоутворених цукрів дріжджовими мікроорганізмами [1].

Стадія приготування зернового замісу є однією з ключових у спиртовому виробництві. Мета водно-теплової обробки зерна полягає в зруйнуванні клітинної структури сировини і переведенні крохмалю в розчинний стан [1]. При дослідженні даної стадії виробництва було встановлено, що вона є вивчена не в повному обсязі.

Аналіз останніх досліджень. Технологічний процес приготування замісу передбачає змішування зернової крупки з водою в змішувачі для забезпечення однорідності суміші у встановленому співвідношенні. Кількість води змінюють у залежності від крохмалистості і вологості зерна з метою забезпечення концентрації сула 18-20 % за цукроміром. Температура замісу регулюється у залежності від дисперсності помелу зерна 40-45° С, 50-60°С та 60-65°С. За традиційною технологією отримання спирту час перебування замісу в змішувачі триває 10 - 15 хвилин.

Проведений аналіз літературних джерел підтвердив, що стадія підготовки зернової сировини в процесі виробництва спирту потребує детального вивчення з точки зору автоматизації. Було визначено основні технологічні показники даного етапу на основі яких зроблено висновок, що вони є визначальними для подальшого протікання процесу. Відомі системи автоматичного контролю та регулювання приготуванням замісу враховують тільки вплив технологічних факторів на концентрацію сухої речовини в замісі, залишаючи поза увагою контроль та регулювання в'язкості замісу [9,13].

Після проведених досліджень процесу приготування замісу було встановлено, що існуючі системи керування не забезпечують в повній мірі контроль та регулювання всіх параметрів, які є визначальними для даної стадії. Тому впровадження системи автоматичного регулювання з використанням додаткового контуру, а саме регулювання в'язкості замісу, є актуальною.

Процес отримання спирту із крохмалевмісної сировини включає стадії підготовки зерна (очищення і подрібнення), приготування замісу зерна з водою і гідроферментативна обробка

сировини, засів бродильних апаратів та зброджування крохмалевмісної сировини, ректифікація спирту.

З розвитком енергозберігаючих технологій в даній галузі промисловості передбачено використання схеми низькотемпературного розварювання замісів. Важливою особливістю даної технології є використання концентрованих ферментних препаратів, а також забезпечення узгодженої подачі води, зернової суміші і ферментів. В процесі змішування основною проблемою є якісний склад кінцевого потоку суміші – концентрація сусла. Забезпечення даного параметра реалізується за допомогою використання регулюючих клапанів подачі зернової суміші, ферментів і води. Система управління стає необхідною для управління комбінацією їх витрат, оскільки неправильне співвідношення цих потоків може призвести до неповного гідролізу крохмалю і відповідно до недоотримання спирту. Але проявляється проблема досягнення бажаного цільового складу суміші, тобто концентрації сусла. Цільовий склад суміші може змінюватись і операція приготування замісу повинна швидко реагувати на такі вимоги [12].

На сьогоднішній день відомо чимало систем автоматичного керування, які направлені на вирішення окремих технологічних показників: вимірювання витрати сировини, концентрації замісу, регулювання подачі води, а також контроль та регулювання концентрації сировини [9,11].

Відома система автоматизованого керування контуром, що регулює співвідношення «зерно - вода» для процесу змішування на Ядринському спиртзаводі (рис.1), що дозволило зменшити вплив збурень на основний показник замісу – концентрація сусла, що було неможливо забезпечити в режимі ручного регулювання витрат зерна і рідкої фази [14].

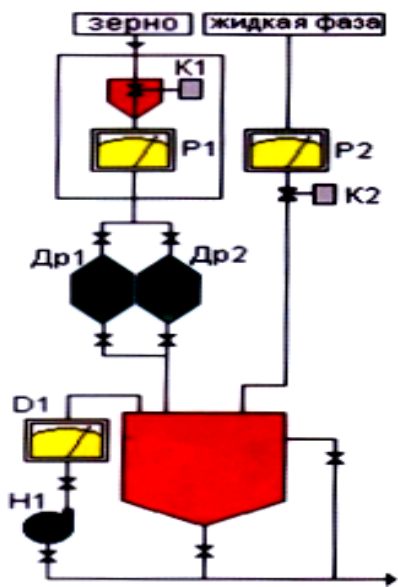


Рис. 1. Функціональна схема змішування зерна з рідкою фазою

K1 – регулюючий кран подачі зерна; K2 – регулюючий кран подачі рідкої фази; P1 – витратомір зерна; P2 – витратомір рідкої фази; Др1, Др2 – робоча і резервна дробилки зерна; D1 – вимірювач концентрації замісу; H1 – pompa рециркуляції замісу в змішувачі «зерно – вода»

На рис.1 наведена функціональна схема змішування зерна з рідкою фазою. Значення концентрації замісу, яке необхідно підтримувати в змішувачі, отримано в результаті лабораторного аналізу для використовуваного виду сировини на основі засвідчених даних. У складі системи реалізовані три контури регулювання:

- контур регулювання витрат зерна (K1, P1);
- контур регулювання витрати рідкої фази (K2, P2);
- контур регулювання концентрації замісу в змішувачі «зерно - вода».

Відома також схема керування процесом приготування замісу, яка полягає в вимірі витрати сировини і концентрації замісу і в регулюванні подачі води. З метою підвищення якості замісу пропонується визначати вимірюванням і розрахунком концентрацію сировини, а регулювання подачі води відбувається по нелінійному закону [9].

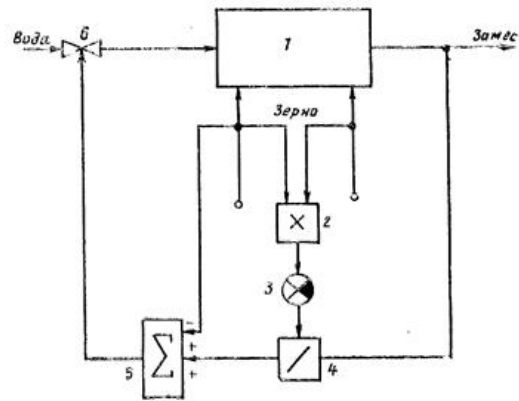


Рис. 2. Функціональна схема автоматичного регулювання концентрації замісу

Не дивлячись на те, що в'язкість зернових замісів у спиртовому виробництві відіграє важливу роль, нині в'язкість зернових сумішей під час виробництва спирту не контролюється. Це створює перешкоди при виконанні наступних операцій і транспортування замісу на наступні операції [1]. Основним недоліком цього і інших вказаних систем автоматичного керування процесом приготування замісу є відсутність контролю за в'язкістю замісу, що не дозволяє використати підвищені теплові режими обробки замісу, які забезпечили би ефективне проведення наступної операції термоферментативної обробки суслу.

Виклад основного матеріалу. Одним з перспективних напрямків вдосконалення технології виробництва етилового спирту є впровадження низькотемпературних схем переробки зернової сировини та збільшення концентрації зернових сумішей суслу. Однак надмірне збільшення вмісту зернової сировини призводить до погіршення реологічних характеристик замісів та уповільнення процесів ферментативного руйнування крохмалевмісної сировини в процесі механічно-ферментативної обробки [5]. Також застосування сучасних способів інтенсифікації приготування замісу, а саме підвищення концентрації сухих речовин у суслі впливає на підвищення в'язкості. У зв'язку з цим виникає ряд проблем, таких як ускладнення перекачування замісів, перешкоджання гідролізу крохмалю та інших біополімерів сировини, а також проведення наступних технологічних операцій: оцукрювання (збільшення подачі пари для додаткового розрідження), перекачування, бродіння [2,3,4]. Це знижує вихід спирту і ефективність виробництва. У зв'язку з цим постає питання розробки та впровадження системи автоматичного керування, яка буде враховувати особливості сировини, температурні режими, витрати основних компонентів даної ділянки, а також здійснювати своєчасний контроль та регулювання вихідних параметрів концентрації замісу та в'язкості. Це дозволить мінімізувати витрати сировини, покращити якість вихідного продукту і суттєво підвищити ефективність виробництва.

Система керування в цьому випадку повинна забезпечити окрім підтримання температури води і концентрації сухих речовин в заданих межах, також і потрібну в'язкість замісу. В'язкість технологічних середовищ відіграє вирішальну роль у змішуванні та перекачуванні зернового суслу, її збільшення запобігає ефективному ферментативному впливу ферментів на біополімери зернової сировини, ускладнює процеси тепло- та масообмінного перенесення, погіршує бродіння висококонцентрованої маси внаслідок високого осмосу бродильного суслу [5]. Підвищений осмотичний тиск у бродильному суслі ускладнює засвоєння дріжджами поживних речовин [6-8].

Враховуючи вищевказане, можна вважати, що для забезпечення якісного протікання процесу замісу необхідно контролювати не тільки концентрацію сухої речовини в замісі, але і його в'язкість. Тоді для даної технологічної операції характерна наступна взаємозалежність матеріальних потоків та їх параметрів (рис.3)

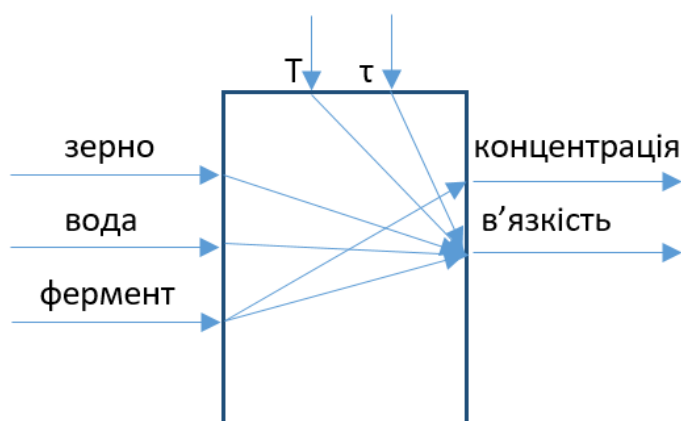


Рис.3. Схематичне представлення процесу змішування: T-температура замісу, τ -час приготування замісу

Дійсно, якщо заощадити на ферментах то не буде повного гідролізу, якщо не контролювати рН і температуру в чанку замісу, то ферменти можуть «недопрацювати», або взагалі не працювати. Неконтрольоване підвищення в'язкості замісу пов'язане зі зниженням рухливості технологічного середовища на етапі приготування замісу, викликає зниження дозування ферменту і, як наслідок, погіршення умов протікання ферментативного гідролізу крохмалю, некрохмалистих полісахаридів при механічно-ферментативній обробці. Таким чином, якщо заощадити на автоматизації, то практично нереально буде витримати співвідношення параметрів всіх потоків для утворення замісу із потрібною концентрацією та в'язкістю. Як результат – перевитрата ферментів і зменшення виходу продукту.

Тому дослідження направлені на створення передумов автоматичного керування параметрами процесу приготування зернових замісів із заданими параметрами концентрації та в'язкості є актуальними.

Метод контролю ступеня в'язкості замісу повинен забезпечити процес вимірювання, придатний для використання в системі автоматичного контролю. Він повинен забезпечувати швидкість і точність вимірювання і надаватися для контролю динаміки зміни в'язкості замісу [9].

На сьогоднішній день найбільшого поширення набули наступні способи вимірювання в'язкості:

1. за допомогою капілярного віскозиметра ВЗ-246 (ГОСТ 9070-75), який являє собою бак ємністю 100 см³ і має насадку діаметром 2, 4 або 6 мм біля основи. Він має низьку продуктивність, а також наявність ряду помилок при вимірюванні через похибку вимірювання часу, пов'язана з реакцією спостерігача, похибку секундоміра, візуальні помилки, помилку відліку через поверхневий натяг тощо [10].

2. за допомогою віскозиметра Нерлеґ заснований на вимірюванні умовної в'язкості, яка визначається часом падіння кулі в трубочку, наповнену рідиною, що перевірюється. Цей метод також має такі недоліки як складність конструкції, а також наявність помилки в вимірюванні часу, пов'язаної з реакцією спостерігача, похибкою секундоміра, візуальними помилками.

Ці методи не забезпечують достатню динаміку процесу контролю, що постає перешкодою для автоматизації процесу приготування замісу. Нами був запропонований метод контролю в'язкості замісу, який характеризується тим, що зміна в'язкості досліджуваного середовища визначається потужністю, споживаною електродвигуном для змішування замісу при постійній швидкості обертання вала (наприклад, 100 об/хв). Це дозволяє автоматизувати процес вимірювання та надає можливість контролювати зміну в'язкості в динаміці [10].

Оскільки двигун працює при незмінній напрузі електричного кола, то при зміні споживаної мішалкою потужності буде змінюватися струм живлення двигуна.

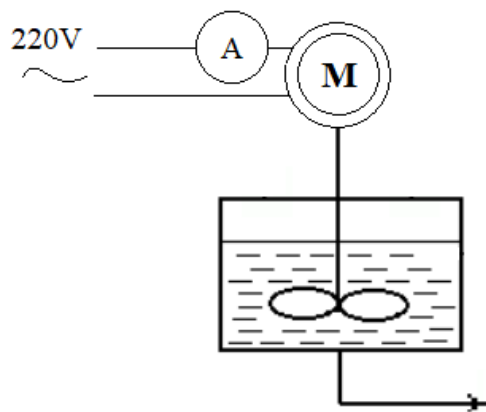


Рис.4. Схема контролю в'язкості замісу:
М-асинхронний двигун, А-амперметр

Для реалізації такої схеми необхідно передбачити в системі керування додатковий контур, який забезпечить вимірювання і регулювання в'язкості замісу, наприклад шляхом зміни інтенсивності подачі пари в чанок замісу (рис.5). Для цього в контурі розміщено датчик вимірювання в'язкості замісу, вихід якого зв'язаний з елементом порівняння в'язкості замісу із заданим, а вихід елемента порівняння пов'язаний з регулюючим елементом пристрою подачі пари.

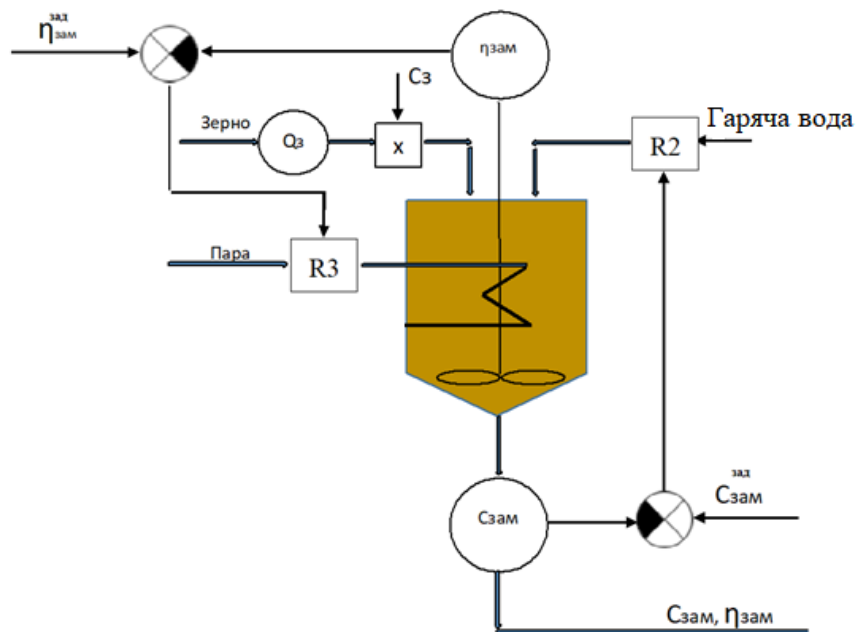


Рис. 5. Система автоматичного двопараметричного керування приготуванням замісу при виробництві етилового спирту з крохмалевмісної сировини

Висновки.

1. Для зменшення енергетичних та ресурсних показників процесу виробництва спирту на всіх стадіях виробництва, а також покращення якісних показників готової продукції на одній із ключових стадій у спиртовому виробництві - приготування замісу - необхідно здійснювати контроль і регулювання двох параметрів замісу – концентрація сухої речовини і в'язкість.
2. Система автоматичного керування приготуванням замісу повинна включати контур, який забезпечує контроль і регулювання в'язкості замісу.
3. Для забезпечення динаміки процесу контролю і регулювання в'язкості замісу нами запропоновано використати в якості датчика вимірювання в'язкості контроль потужності мішалки.

Інформаційні джерела

1. Яровенко, В.Л. Технология спирта / В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко, В.А. Смирнов, Б.А. Устинников [и др.]. – М.: Колос-пресс, 2002. – С. 78.
2. Яковлев, А.Н. Влияние мультиэнзимного комплекса на вязкость ячменных замесов / С.В. Востриков, О.С. Корнеева, С.Ф. Яковлева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 9. – С. 46–47.
3. Долгов, А.Н. Влияние технологических параметров на состав и реологические свойства замесов из пшеничной муки / А.Н. Долгов, Г.В. Агафонов, Н.В. Зуева, В.А. Вертенова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 9. – С. 10–14.
4. Алимова, Д.С. Водно-тепловая обработка ржаных замесов с пониженным гидромодулем и сохранением активности нативной α -амилазы / Н.В. Баракова, М.А. Начетова, Е.А. Самоделькин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2014. – № 11. – С. 18–21
5. Изучение динамики изменения физико-химических показателей сула спиртового производства на стадиях механико-ферментативной обработки при увеличении концентрации зерновых замесов / А. А. Пушкарь, Д. В. Хлиманков, В. И. Соловей, Ю. С. Пусовская // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 2. – С. 238–251. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-2-238-251>
6. Римарева, Л. В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей / Л.В. Римарева. – М. : ДеЛи принт, 2010. – 251 с.
7. Casey, G. P. Ethanol tolerance in yeasts / G. P. Casey, W. M. Ingledew // Crit. Rev. in Microbiology. – 1986. – Vol. 13, №3. – P. 219–280. <https://doi.org/10.3109/10408418609108739>
8. A study of ethanol tolerance in yeast / T. D'Amore [et al.] // Crit. Rev. in Biotechnology. – 1990. – Vol. 9, N 4. – P. 287–304. <https://doi.org/10.3109/07388558909036740>
9. Способ автоматического управления процессом приготовления замеса при производстве этилового спирта из зерно-картофельного сырья: пат. № 415291СРСР: №1788223/28-13; заявл. 25.05.1972; опубл. 15.11.1974, Бюл. № 6. 2с.
10. Способ контроля степени осахаривания крохмалсодержащего сырья: пат. № 2339933 РФ: № 2007105417/28; заявл. 13.02.2007; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. 8с.
11. Способ автоматического управления производства спирта из крохмалосодержащего зерна: пат. № 751828 СРСР: №2561226/28-13; заявл. 26.12.77; опубл. 30.07.80, Бюл. № 28. 3с.
12. Технологія спирту. В.О.Маринченко, В.А.Домарецький, П.Л.Шиян, В.М.Швець, П.С.Циганков, І.Д.Жолнер. /Під ред. проф. В.О.Маринченка. - Вінниця: "Поділля-2000", 2003. - 496 с.
13. Автоматика и автоматизация пищевых производств/ М. М. Благовещенская, Н. О. Воронина, А. В. Казаков и др. — м.: Агропромиздат, 1991. — 239 с .
14. Леденев В.П. Системы стабилизации гидромодуля в производстве спирта / В.П. Леденев, Е.А. Кириллов // Ликероводочное производство и виноделие, 2003. № 4 (40). С. 7-9.

Palchevsky B.O. Ph.D., prof., Markina L.M.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF MANAGEMENT OF BATCH PREPARATION IN THE ALCOHOL PRODUCTION

The article analyzes one of the key stages of alcohol production, namely the preparation of the mixture from grain raw materials and its water-heat treatment. The purpose of this stage is the destruction of the cellular structure of grain raw materials and the conversion of starch into a soluble state. Since the batch preparation process is not sufficiently studied, its automation, as the experience of modern distilleries has shown, does not ensure reliable control and regulation of process parameters. Known systems of automatic control and regulation of the preparation of the dough take into account the influence of technological factors only on the concentration of dry matter in the dough, leaving out the control and regulation of the viscosity of the dough. Since the viscosity of the dough determines the technological modes of heat treatment and subsequent operations, as well as the fluidity of the dough for its movement between them, it was proposed to introduce an additional circuit for adjusting the viscosity of the dough into the system of control and regulation of the preparation of the dough. Preliminary calculations showed that such a two-parameter (dry matter concentration and viscosity) system of control and regulation of the preparation of the mixture will allow to improve the energy and resource indicators of the alcohol production process at all stages of production.

УДК 577.3

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-14

Панкевич С.С., асп., Мартинюк О.С., д-р пед. наук, Федосов С.А., д-р фіз.-мат. наук
Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВАЖЛИВІСТЬ ФІЗИКИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ МЕДИЧНОГО ПРОФІЛЮ

В роботі зроблено порівняльний аналіз публікацій зосереджених в напрямі наукових досліджень пов'язаних з вивченням фізики студентами медичного профілю. Розглянуто закономірності особливостей міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань в області досліджень, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток напрямку. Дослідження базується на результатах даних, опублікованих у міжнародній наукометричній базі Scopus. Виконано аналіз і сформульовано рекомендації для покращення поширення результатів вітчизняних вчених у світовій науці за цим напрямом.

Ключові слова: фізика, медицина, студенти-медики, публікації, наукові дослідження.

Постановка проблеми. Фізика є однією з фундаментальних загальноосвітніх дисциплін, що складають теоретичну основу підготовки фахівців вищої кваліфікації для медицини. Вивчення фізики формує у студентів системи знань про базові фізичні принципи та підходи до дослідження процесів у живій природі, фізико-технічні принципи функціонування медичних пристроїв, використання математичних методів в біомедичних дослідженнях тощо. Як один із сучасний напрямів науки й техніки є медична фізика [1, 2], яка спрямована на вирішення медичних завдань, пов'язаних із розробкою фізичних основ методів лікування, діагностики і створення апаратури, фізичної за конструкцією та медичної за застосуванням [3-7]. Саме успіхи прикладної фізики, техніки і медичного приладобудування значною мірою забезпечують розвиток сучасної медицини.

З метою підвищення якості підготовки фахівців медичного профілю, їх конкурентоспроможності на ринку праці та відповідності сучасним вимогам, важливим для ефективної реалізації цих задач є вивчення досвіду навчальної і наукової складових передових країн світу.

Основне завдання та одержані результати роботи. Метою досліджень є зробити аналіз публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus за період 1993-2022 рр., зосереджених в напрямку наукових досліджень пов'язаних з методичними засадами навчання фізики студентів медичного профілю.

Методологія досліджень. Попередній пошук у наукометричній базі Scopus публікацій пов'язаних з методичними засадами навчання фізики студентів медичного профілю проведено за тегами «teaching physics to medical students», «teaching physics to medical», «physics to medical students», «physics to medical». Однак за період 1993-2022 рр. у Scopus за тегами «teaching physics to medical students», «teaching physics to medical» присутня незначна кількість робіт – 303 і 566 відповідно. Тому, з метою одержання об'єктивної оцінки результатів досліджень, для обробки більшого масиву пошукових даних проведено аналіз публікацій за тегами «Physics to medical students» (Фізика для студентів-медиків) (Аналіз 1) і «Physics to medical» (Фізика для медицини) (Аналіз 2). Наукову літературу, індексовану у наукометричній базі Scopus за період 1993-2022 рр., відібрано із пошуку у назві статті (Article title), анотації (Abstract) і ключових словах (Keywords). Для порівняння аналізувалися опубліковані роботи, які мають приналежність до наукових центрів у світі й в Україні.

Аналіз досліджень. Станом на квітень 2022 року у наукометричній базі Scopus відображено 893 (Аналіз 1) і 19 220 (Аналіз 2) документів, що відповідають критерію. На рис. 1 наведено діаграму країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України. Для коректної порівняльної оцінки дані наведено у % від загальної кількості для кожної вибірки. Саме на ці 10 країн-лідерів за кількістю публікацій припадає 75 від загальної кількості публікацій з «Фізика для студентів-медиків» і 85 % з «Фізика для медиків».

На рис. 1 країни розташовані у порядку спадання кількості публікацій за «Аналіз 1» (рожеві стовпці). Відповідно до цих значень цікавим є порівняльний розподіл між двома заданими пошуками «Аналіз 1» і «Аналіз 2». Ці дані мають дещо відмінний характер у пошуку за країнами не лише абсолютний, але й відносний. Незаперечним лідером за кількістю публікацій (365 і 5 979) в обох досліджуваних напрямках є США. Кількість публікацій науковців зі США становлять більше третини (41 і 38 %) усіх публікацій у світі. Серед країн-лідерів за

обома пошуками, також: Великобританія, Німеччина, Канада, Австралія, Франція, Японія, Італія тощо. Майже однаковий (у %) внесок у світову науку за обома напрямками у Великобританії (7,5-8 %) і Австралія (2,8-3,3 %). Значна відмінність за цим показником (більше ніж у два рази між напрямками) спостерігається для Німеччини (5,6 проти 11,3 %), Японії (2,1 і 7,6 %), Італії (2,0 і 7,3 %). Ще більша вона для країн, які лише за однією з вибірок входять у топ-10: Бразилія, РФ, Іспанія, Китай, Франція, Швейцарія, де значно більша увага зосереджена на окремих наукових дослідженнях, а отже і публікаціях їх результатів.

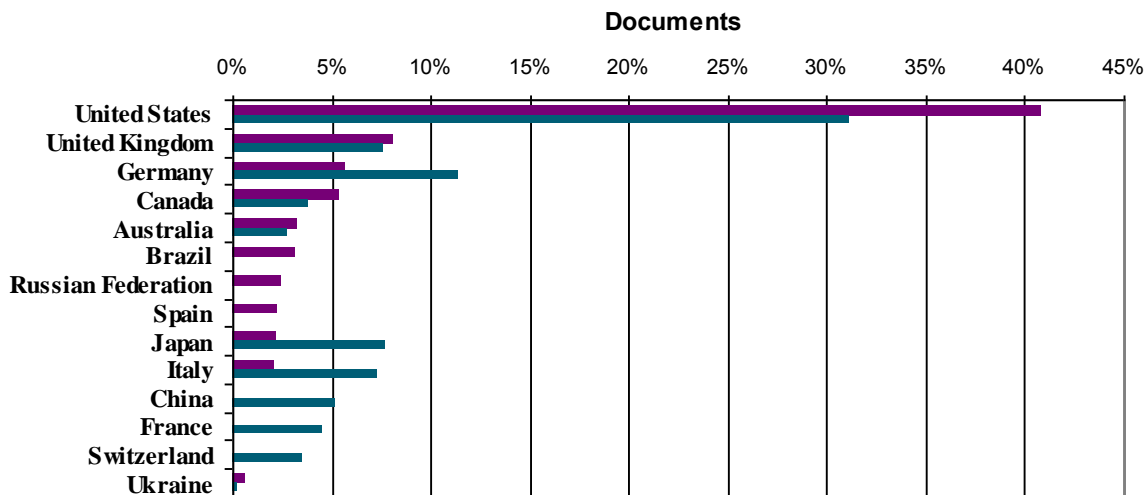


Рис. 1. Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій та України

Самі ж дослідження з даних тематик зосереджено у провідних науково-дослідних центрах (табл. 1). Закономірно, що провідні центри належать саме країнам-лідерам. Ці організації, як і країни загалом, є незаперечними лідерами в дослідженнях з обох напрямів, серед яких: *Онкологічний центр ім. М.Д. Андерсона Техаського університету, Гарвардська медична школа*, тощо. Крім того, високі позиції займають: *Європейська організація з ядерних досліджень* (Швейцарія), *Національний центр наукових досліджень* (Франція), *Вісконсінський університет у Медісоні* (США), *Мюнхенський технічний університет* (Німеччина), *Університет Сан-Паулу* (Бразилія) тощо.

Таблиця 1.

Провідні науково-дослідні центри за кількістю публікацій за напрямками досліджень	
Фізика для студентів-медиків (Physics to medical students)	Фізика для медицини (Physics to medical)
Світові	
<i>University of Texas MD Anderson Cancer Center, US</i>	<i>European Organization for Nuclear Research, Switzerland</i>
<i>Harvard Medical School, US</i>	<i>University of Texas MD Anderson Cancer Center, US</i>
<i>Sprawls Educational Foundation, US</i>	<i>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France</i>
<i>University of Wisconsin-Madison, US</i>	<i>University of Michigan, Ann Arbor, US</i>
<i>Brigham and Women's Hospital, US</i>	<i>Harvard Medical School, US</i>
<i>University Malaya, Malaysia</i>	<i>Technical University of Munich, Germany</i>
<i>Universidade de São Paulo, Brazil</i>	<i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – INFN, Italy</i>
<i>Medical College of Wisconsin, US</i>	<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>
<i>University of Washington, US</i>	<i>National Institute of Radiological Sciences Chiba, Japan</i>
<i>King's College London, UK</i>	<i>Tsinghua University, China</i>
Українські	
<i>National Medical Academy</i>	<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>
<i>Intl. Res. and Train. Center for</i>	<i>Vinnitsya National Technical University</i>

<i>Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine</i>	<i>Institute for Scintillation Materials of NASU</i>
<i>The State Fund for Fundamental Research of Ukraine</i>	<i>National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology</i>
<i>Bogomolets National Medical University</i>	<i>Taras Shevchenko National University of Kyiv</i>
<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>	<i>National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya</i>
	<i>Institute of Nuclear Research NASU</i>
	<i>Institute of Semiconductors Physics NASU</i>

Значно менша кількість публікацій з напрямів «Фізика для студентів-медиків» і «Фізика для медицини» для українських науковців і становить 5 і 123 із відносним загальноосвітнім показником 0,6 % і 0,2 % (рис. 1). Провідними українськими установами за кількістю публікацій з обох досліджуваних напрямів є: *Національна академія наук України, Вінницький національний технічний університет, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАНУ та МОНУ, Державний фонд фундаментальних досліджень*, а також ряд інститутів НАНУ (табл. 1). Серед провідних українських організацій лише *Національна академія наук України* займає найвищі позиції за кількістю публікацій для обох напрямів.

До грандів світової науки, які найчастіше є авторами публікацій (табл. 2) в області фізики для студентів-медиків відносяться: Sprawls P., Ng K.H. і Starkschall G., Caruana C.J., Golden D.W., Tabakov S. і Zhao W. тощо. Так само в області фізики для медицини фахівцями найвищого рівня є: Hendee W.R., Yamaya T., Pia M.G., Yoshida E., Rosenfeld A.B. тощо. Серед українських науковців найавторитетнішими є Perevertaylo V.L., Sidletskiy O., Zinets O., Zlepko S.M. Саме науковці табл. 2 є найавторитетнішими фахівцями в досліджуваних областях, а їх роботи мають великий вплив на розвиток цих напрямів.

Таблиця 2.

Провідні науковці (за кількістю публікацій) за напрямками досліджень	
Фізика для студентів-медиків (Physics to medical students)	Фізика для медицини (Physics to medical)
Світові	
Sprawls P. 10	Hendee W.R. 61
Ng K.H. і Starkschall G. 7	Yamaya T. 56
Caruana C.J., Golden D.W., Tabakov S. і Zhao W. 6	Pia M.G. 51
Chmura S.J., Hendee W., Hobbie R.K., Mornstein V., Tuchin V.V., Widenhorn R. 5	Yoshida E. 48
	Rosenfeld A.B. 47
	Petasecca M. 43
	Yanagida T. 41
	Guatelli S. & Orton C.G. 40
Українські	
Bieliaieva O.M	Perevertaylo V.L 7
Chalyi A.V.	Sidletskiy O. 4
Chalyu K.A.	Zinets O. 4
Grynyov B.V.	Zlepko S.M. 4
Kostyshyn S.V.	

Переважає більшість найвагоміших результатів досліджень світових науковців за обома напрямками опубліковано у авторитетних, в основному Q1 і Q2 (з високим SJR), виданнях (табл. 3): *Medical Physics* (SJR 1,47), *Health Physics* (SJR 0,36), тощо. Однак, серед найпоширеніших журналів для кожного з напрямів більшість є авторитетні видання, які притаманні лише одному з них, зокрема: *Physics Teacher* (SJR 0,41), *Physica Medica* (SJR 0,88), *International Journal of Radiation Oncology Biology Physic* (SJR 2,12) для «Аналіз 1» і *Physics in Medicine and Biology* (SJR 1,06), *Radiological Physics and Technology* (SJR 0,35) тощо для «Аналіз 2». Також, значна кількість публікацій видана не лише у топових журналах, але й у

великій кількості матеріалів конференцій, таких як *IFMBE Proceedings* (SJR 0,15), *AIP Conference Proceedings* (SJR 0,18), *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (SJR 0,19), *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* та ін., що вказує на важливість участі науковців у роботі таких заходів і представлення на них своїх результатів.

Як і науковці інших країн, українські публікуються теж у збірниках конференцій чи у своїх національних виданнях, які менше поширені у світі. Зокрема, топ-видань для представників з України наступний (табл. 3): *AIP Conference Proceedings* (SJR 0,18), *IFMBE Proceedings* (SJR 0,15), *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* (SJR 0,19) і спільні для обох вибірок. Це може бути причиною того, що саме для них можливі дещо менші вимоги до рівня англійської мови, або відповідні конференції мають суттєво нижчий рівень організаційних внесків (50-100 євро проти 700-1000 євро).

Таблиця 3.

Найпоширеніші джерела видань(країна (SJR)) за напрямками досліджень	
Фізика для студентів-медиків (Physics to medical students)	Фізика для медицини (Physics to medical)
Світові дослідження	
<i>Medical Physics</i> , US (Q1 1,47)	<i>IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record</i> , US
<i>IFMBE Proceedings</i> , Germany (0,15)	<i>IFMBE Proceedings</i> , Germany (0,15)
<i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,18)	<i>Medical Physics</i> , US (Q1 1,47)
<i>Physics Teacher</i> , US (Q2 0,41)	<i>Health Physics</i> , US (Q3 0,36)
<i>Physica Medica</i> , Italy (Q1 0,88)	<i>Physics in Medicine and Biology</i> , UK (Q1 1,06)
<i>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)	<i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,18)
<i>International Journal of Radiation Oncology Biology Physics</i> , US (Q1 2,12)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (0,21)
<i>American Journal of Physics</i> , US (Q2 0,54)	<i>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)
<i>Journal of Applied Clinical Medical Physics</i> , US (Q2 0,66)	<i>Radiological Physics and Technology</i> , Japan (Q3 0,35)
<i>Health Physics</i> , US (Q3 0,36)	<i>Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment</i> , Netherlands (Q2 0,63)
Українські дослідження	
<i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,18)	<i>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)
<i>IFMBE Proceedings</i> , Germany (0,15)	<i>IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record</i> , US
<i>Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)	<i>IFMBE Proceedings</i> , Germany (0,15)
<i>Science and Innovation</i> , Ukraine (Q3 0,21)	<i>IEEE Transactions on Nuclear Science</i> , US (Q2 0,55)
<i>Wiadomosci Lekarskie</i> , Poland (Q4 0,13)	<i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,18)
	<i>Medical Physics</i> , US (Q1 1,47)
	<i>Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment</i> , Netherlands (Q2 0,63)
	<i>Journal of Physical Studies</i> , Ukraine (Q4 0,13)
	<i>NATO Security through Science Series B: Physics and Biophysics</i> , Germany
	<i>Radiation Measurements</i> , UK (Q2 0,57)
	<i>Ukrainian Journal of Physics</i> , Ukraine (Q3 0,24)

Хоча й українські науковці найчастіше публікують свої результати (табл. 3) у матеріалах конференцій, значну їх кількість опубліковано також у виданнях Q1 і Q2: *IEEE Transactions on Nuclear Science* (SJR 0,55), *Medical Physics* (SJR 1,47), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* (SJR 0,91) (для Аналіз 2). Таким чином реалізується більша кількість цитувань їх праць.

Дещо складніше робити висновки за галуззю знань, з якою позиціонується певна публікація. Для всіх публікацій по світу пов'язаних як з «Фізика для студентів-медиків» (Physics to medical students) так і з «Фізика для медицини» (Physics to medical), переважаючими є галузі «Медицина», «Фізика та астрономія» і «Інженерія» (рис. 2а,б). За різними напрямками майже однакові світові відсоткові значення кількості публікацій пов'язаних з галузями знань «Медицина» (24,6 і 25,5 %), «Інженерія» (12,8 і 14,9 %). Тоді як для галузей «Фізика та астрономія» (14,7 проти 22,5 %) і «Біохімія,...» (11,9 проти 6,9 %) спостерігається значний «перекос», а для «Соціальні науки» і «Хімічна інженерія» відсутність серед переважаючих в одному з напрямків. Такий «перекос» очевидний і зумовлений додатковими складовими для кожного з напрямків, зокрема дещо більшим акцентом на «Фізика та астрономія» і «Соціальні науки» для навчально-наукового «Фізика для студентів-медиків» і більшою науково-технічною зосередженістю «Біохімія,...» і «Хімічна інженерія» для «Фізика для медицини». Однак для обох випадків незмінно пріоритетними галузями є «Медицина» і «Інженерія».

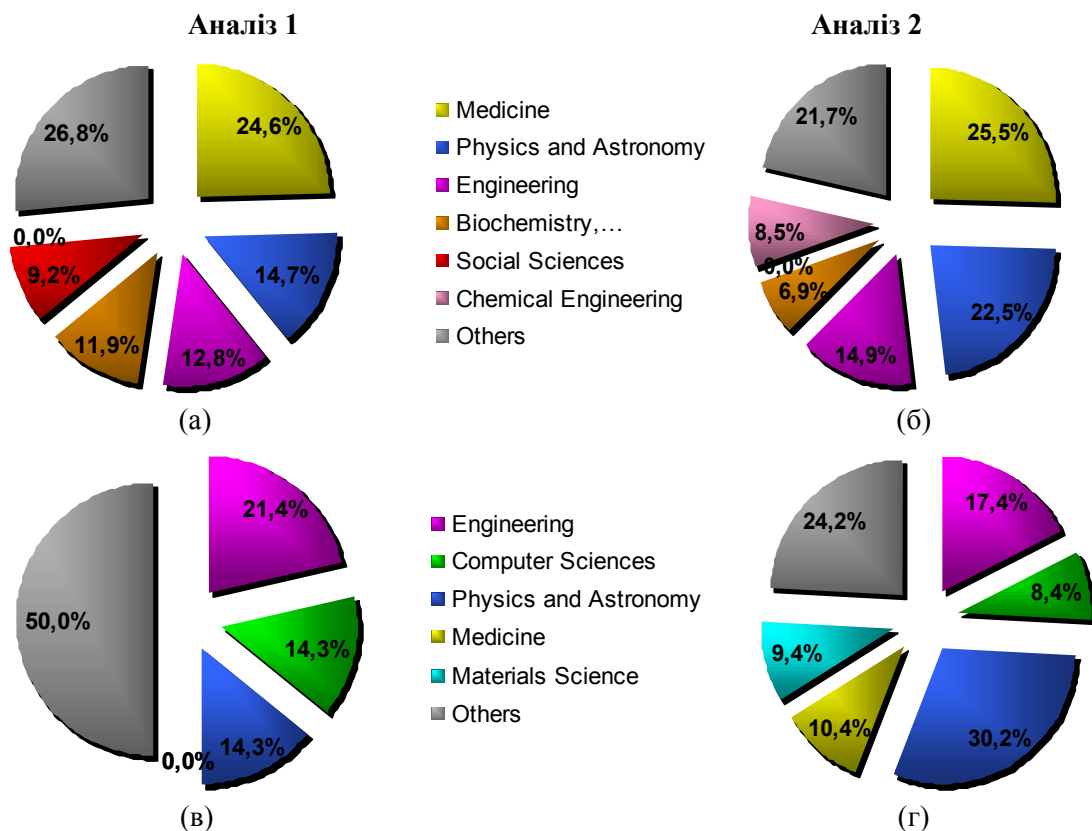


Рис. 2. Переважаючі галузі знань публікацій (а), (б) світових і (в), (г) українських: «Фізика для студентів-медиків» (Physics to medical students) (а), (в) і «Фізика для медицини» (Physics to medical) (б), (г).

Мала кількість публікацій українських науковців за «Аналіз 1», як наслідок 50 % інші галузі, значно ускладнює об'єктивний розподіл за галузями знань. Для України (рис. 2в,г) за окремими напрямками переважаючі галузі – «Інженерія» (21,4 і 17,4 %), «Фізика та астрономія» (14,3 і 30,2 %), «Комп'ютерні науки» (14,3 і 8,4 %), «Медицина» (н.д. і 10,4 %). Вони відрізняються від світових, не лише кількісно у відсотках, але і якісно. Якщо ж (рис. 2) для галузі «Фізика та астрономія» значення мало відрізняються від світових (14,7 % проти 14,3 % і 22,5 % проти 30,2 %) і дещо більше для «Інженерія» (12,8% проти 21,4 % і 14,9 % проти 17,4 %), то для ключової світової галузі «Медицина» – більше ніж у два рази (24,6 % проти н.д. і 25,5 % проти 10,4 %). Також, дуже мало або зовсім відсутні публікації українських науковців

у галузях «Біохімія, ...», «Соціальні науки» і «Хімічна інженерія», проте виділяються роботи у «Комп'ютерні науки» і «Матеріалознавство». Лідерство в світі «Медицини» вказує, швидше за все на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних галузей медицини і перейшли у практичне русло. Перевага за кількістю публікацій галузі «Фізика та астрономія» вказує на те, що представники України більше інтегровані саме до конкретних областей фізики або астрономії і починають розвивати дану галузь, намагаються знайти застосування результатів своїх колективів для медицини, але спираються у більшості на попередні результати. Це пояснюється значним фундаментальним доробком і розвитком прикладних аспектів. Часто такі напрями визначаються наявною матеріальною базою або публікаціями у співпраці вчених з різних країн, де кожна наукова група чітко виконує свою частину роботи.

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Для України це країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірно бачити значну кількість публікацій для обох напрямів досліджень з науковцями: Польщі, Казахстану, США, Франції. Є серед країн-партнерів і Австралія, Німеччина, РФ Японія і Швейцарія, Італія. Хоча США має високий економічний потенціал та суттєво вищі показники за кількістю публікацій (рис. 1), вона не є переважаючим серед країн-партнерів для України. Як правило, для цієї країни пріоритетною є підтримка власних досліджень та, відповідно, значна кількість публікацій без іноземних партнерів.

Найбільшими світовими організаціями, що фінансують дослідження в даних областях – здебільшого організації з США (табл. 4): *National Science Foundation, National Institutes of Health, National Cancer Institute, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering*. Значну фінансову підтримку також надають: *U.S. Department of Health and Human Services, National Center for Research Resources, American Association of Physicists in Medicine* (Аналіз 1) та *National Natural Science Foundation of China, European Commission, U.S. Department of Energy* (Аналіз 2) тощо.

Таблиця 4.

Найбільші світові організації, що фінансують дослідження за напрямками	
Фізика для студентів-медиків (Physics to medical students)	Фізика для медицини (Physics to medical)
Світові дослідження	
<i>National Science Foundation</i>	<i>National Institutes of Health</i>
<i>National Institutes of Health</i>	<i>National Cancer Institute</i>
<i>U.S. Department of Health and Human Services</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>National Center for Research Resources</i>	<i>National Natural Science Foundation of China</i>
<i>American Association of Physicists in Medicine</i>	<i>European Commission</i>
<i>National Cancer Institute</i>	<i>U.S. Department of Energy</i>
<i>National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering</i>	<i>Japan Society for the Promotion of Science</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology</i>
<i>Directorate for Education and Human Resources</i>	<i>National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering</i>
<i>National Center for Advancing Translational Sciences</i>	<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>
Українські дослідження	
<i>Atomic Energy Commission of Syria</i>	<i>Australian Research Council</i>
<i>CERN</i>	<i>Department of Education and Training</i>
<i>California Earthquake Authority</i>	<i>Australian Nuclear Science and Technology Organization</i>
<i>Centre National de la Recherche Scientifique</i>	<i>CERN</i>
<i>State Fund for Fundamental Research of Ukraine</i>	<i>Department of Health, Australian Government</i>
	<i>European Cooperation in Science and Technology</i>
	<i>Ministry of Higher Education, Malaysia</i>
	<i>National Health and Medical Research</i>

Council
Atomic Energy Commission of Syria
Australian Education International,
Australian Government

Для України ситуація з державною підтримкою складніша. Дуже мало публікацій, де вказано виконання за сприянням *НАНУ* і *МОНУ*. Зате є значна кількість публікації українських вчених, дослідження яких підтримані (табл. 4): *Міністерством вищої освіти Малайзії*, *Комісією з атомної енергетики Сирії*, *Урядом Австралії* тощо. Найбільші спонсори для України – *Australian Research Council*, *Department of Education and Training*, *Australian Nuclear Science and Technology Organization*, *CERN* та ін. Як правило, українські вчені виконують свої дослідження або в закордонних інституціях, в рамках дослідницького гранту, або українська організація співпрацює із закордонною. Тому вчені є співавторами багатьох спільних статей. Іншою проблемою у науковців з України є не деталізація на метаданих (відсутність спонсора), або виконання досліджень без фінансової підтримки. Як наслідок, із проіндексованих публікацій з українськими науковцями менше третини мають відомості про фінансування дослідження.

Висновок. Аналіз стану досліджень в світі та Україні однозначно свідчить про актуальність і перспективність даного напрямку та підтверджується зацікавленістю світових науковців їх значною кількістю публікацій у наукометричній базі даних Scopus за період 1993–2022 рр. Така активність вчених провідних країн світу до даної проблематики обумовлена високим її практичним значенням і використанням у різних сферах. Незначне представлення публікацій, які подаються українськими науковцями, вимагає значної активізації даного напрямку досліджень і пояснено: потребами у наявності сучасної та дорогої матеріальної бази, частою відсутністю зовнішнього фінансування таких досліджень тощо. Причому, міжнародна співпраця українських вчених заслуговує уваги та вказує на перспективи розвитку досліджень у даному напрямі.

Інформаційні джерела

1. Nykyruy L.I., Fedosov S.A., Saliy Ya.P., Prokopiv V.V., Zamurujeva O.V., Yavorsky R.S. Current research in the field of medical physics: challenges for Ukraine. *Scientific Notes*. 2020. № 69. P. 82–91.
2. Nykyruy L.I., Fedosov S.A., Yaremiy I.P., Zamurujeva O.V., Tymoshchuk A.B., Fedosov V.S. Applied fields of modern physics research: medical and computer physics. *Scientific Notes*. 2021. № 72. P. 36–44.
3. Agostinelli S., Allison J., Amako K., et al. GEANT4 - A simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*. 2003. Vol. 506, № 3. P. 250–303.
4. Grier D.G. A revolution in optical manipulation. *Nature*. 2003. Vol. 424, № 6950. P. 810–816.
5. Sidky E.Y., Pan X. Image reconstruction in circular cone-beam computed tomography by constrained, total-variation minimization. *Phys. Med. Biol.* 2008. Vol. 53, № 17. P. 4777.
6. West J., Fitzpatrick J.M., Wang M.Y., et al. Comparison and evaluation of retrospective intermodality brain image registration techniques. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1997. Vol. 21, № 4. P. 554–568.
7. Boas D.A., Dunn A.K. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics. *J. Biomed. Opt.* 2010. Vol. 15, № 1. P. 011109.

Pankevych S.S., Ph.D. student, Martyniuk O.S., Dr. Educ., Fedosov S.A., Dr. Phys. & Math. Sc.
Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

THE IMPORTANCE OF PHYSICS IN PREPARING MEDICAL STUDENTS

The paper presents a comparative analysis of publications focused on research related to the study of physics by medical students. The regularities of the peculiarities of international cooperation are considered, the range of leading publications in the field of research is outlined, and the factors of influence of scientists from different countries on the development of the direction are analyzed. The study is based on the results of data published in the international scientometric database Scopus. An analysis was performed and recommendations were formulated to improve the dissemination of the results of domestic scientists in world science in this area.

Keywords: *physics, medicine, medical students, publications, research.*

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-15

Сахнюк І.О., Кириленко Л.В., Битков М.Х., Рудак Н.П.
Технічний центр Національної академії наук України, Київ

ПЕРЕГЛЯД ПЕВНИХ ЗАСАД ІЗ ПИТАНЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА СУМІЖНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ

***Анотація.** У статті розглянуто сучасний стан стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології і актуальність міжнародних угод.*

Переважаючі економічні та соціальні виклики, роль і подальший розвиток метрології та метрологічної діяльності, стандартизації та суміжних видів діяльності мають надзвичайне стратегічне значення. У світі розглядаються наміри щодо цифрової трансформації в міжнародній науково-якісній інфраструктурі, створенні всевітньо уніфікованого і безпечного формату обміну даними на основі Міжнародної системи одиниць.

Задля адаптування міжнародних і європейських процедур із питань метрології, стандартизації та суміжних видів діяльності в сучасних умовах з урахуванням стану і особливостей української економіки, соціального, гуманітарного і політичного розвитку країни проведений відповідний аналіз певних міжнародних та регіональних нормативних документів.

Ключові слова: стандартизація, метрологія, сертифікація, акредитація, оцінка відповідності, цифрова трансформація.

Постановка проблеми. У зв'язку з російською агресією в Україні постали нові завдання щодо функціонування сфери метрології та метрологічної діяльності, стандартизації та суміжних видів діяльності, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності і актуальності певних міжнародних угод.

Вступ. Для того, щоб забезпечити суверенне існування України, 24 серпня 1991р. Верховна Рада України прийняла історичний документ виняткового значення для долі українського народу — Акт проголошення незалежності України [1]. На геополітичній мапі світу постала нова самостійна держава — Україна. Незалежність України була визнана всіма колишніми радянськими республіками, світовим співтовариством.

Зокрема, у галузі стандартизації, метрології і сертифікації 13 березня 1992 р. була укладена відповідна Угода про проведення узгодженої політики [2]. Уряди держав-учасниць цієї Угоди відзначили міжнародний характер стандартизації, метрології і сертифікації.

За роки незалежності було зроблено чимало для того, щоб Україна органічно інтегрувалася до європейської міжнародної спільноти. Були зроблені кроки до укладення Угоди про партнерство і співробітництво з Євросоюзом, до членства в Раді Європи (з 9 листопада 1995 року), до участі в Організації з безпеки і співробітництва в Європі (ОБСЄ) (з **30 січня 1992 року**), підписання ряду документів про співробітництво і партнерство з НАТО та західноєвропейськими країнами. Україна вперше як незалежна держава почала виконувати функції члена Ради Безпеки ООН, що означало підвищення її відповідальності та ролі у збереженні миру на нашій планеті.

Мета роботи. Висвітлити зміни, що відбуваються в Україні в галузі стандартизації та суміжних видів діяльності, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології відповідно до сучасного стану торговельно-економічних відносин між державами.

Україна є активним учасником діяльності органів системи ООН у сфері прав людини, стороною всіх основних документів ООН із прав людини, включаючи Міжнародний пакт про громадянські та політичні права, Міжнародний пакт про економічні, соціальні і культурні права, Факультативні протоколи до них та Міжнародну конвенцію з ліквідації всіх форм расової дискримінації [3].

Основні результати дослідження. З березня 2014 р. в Україні на запрошення нашої держави діє Моніторингова місія ООН у галузі прав людини, що фіксує правозахисні наслідки російської агресії.

З початку російської агресії відбулося понад сорок засідань РБ ООН на цю тему, які переконливо засвідчили ізоляцію Російської Федерації (РФ) в ООН із українського питання. 13 лютого 2017 р. була одностайно ухвалена ініційована Україною перша в історії резолюція РБ ООН 2341 щодо захисту критичної інфраструктури від терористичних загроз.

Україна 24.02.2022 р. розірвала дипломатичні відносини з РФ відповідно до норм міжнародного права через неспровоковане повномасштабне вторгнення військ РФ на територію суверенної України.

Кабінет Міністрів України 01 квітня 2022 р. відповідною постановою припинив дію Угоди між Урядом України та Урядом Російської Федерації про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації та Угоди між Урядом України та Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації [4]. У травні 2022 р. Кабінет Міністрів України здійснив вихід України з угоди щодо проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації з цими державами, і набрала чинності постанова Кабінету Міністрів України [5]. Було зазначено, що вихід із Угоди сприятиме актуалізації участі України в договірно-правовій базі в рамках СНД з урахуванням сучасного стану відносин.

Також український парламент денонсував Угоди між Україною та РФ про уникнення подвійного оподаткування доходів і майна та запобігання ухиленням від сплати податків. Між Україною та РФ більше немає Угоди про уникнення подвійного оподаткування. Це ще один удар по економічним відносинам із РФ. Тепер доходи, отримані в країні агресора, будуть оподатковуватися і в Україні. Нагадаємо, Рада затвердила вихід України з угод СНД про визначення походження товарів із країн, що розвиваються. Документ передбачає, зокрема, вихід України з угоди про правила визначення походження товарів країн, що розвиваються, за надання тарифних преференцій.

Крім того, уряд схвалив проєкти законів «Про вихід із Угоди про підтримку та розвиток малого підприємництва в державах – учасниках СНД» та «Про вихід України з Конвенції про транснаціональні корпорації». Зазначається, що обидва міжнародні документи не відповідають сучасному стану торговельно-економічних відносин між державами-учасниками СНД, а також актуальній євроінтеграційній політиці України.

Міністерство економіки України звернулося до всіх міжнародних та регіональних організацій зі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології стосовно того, щоб виключити РФ та Білорусь із членів даних організацій. Уже є інформація від CEN/CENELEC, яка однією з перших виключила ці країни зі свого членства, а також Німеччина не рекомендує (забороняє) комунікацію і продаж стандартів РФ і Білорусі. Уряди ряду держав підтримують Україну і розпочали процедури виключення цих країн із членства в міжнародних та регіональних організаціях зі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології.

У процесі виконання міжнародних, міжурядових, міжвідомчих угод між Україною та РФ здійснюється їх денонсація (ліквідація, припинення).

Доцільно зазначити, що з лютого 2022 р. Європейська комісія оголосила про нову стратегію стандартизації [6]. Комісія заявила, що мета нової стратегії стандартизації полягає в тому, щоб допомогти ЄС досягти цілей щодо більш «зеленої» та цифрової економіки. ЄС також хоче стати більшим гравцем у світовій економіці відповідно до його промислової стратегії.

Важливим елементом забезпечення якості й надійності товарів та послуг, що виходять на ринок, є оцінка відповідності. Україна багато зробила для синхронізації системи з європейськими стандартами. Але сьогодні через вторгнення військ РФ ми змушені адаптувати її до нових реалій.

Стратегія містить п'ять ключових напрямків комплексів дій, які включають внесення змін до чинних правил і заохочення європейського лідерства та навичок у стандартизації, зокрема:

1. Передбачати, розставляти пріоритети і задовольняти потреби у стандартизації в стратегічних галузях (із 2022 року пріоритетні напрямки стандартизації будуть визначатися в щорічній робочій програмі ЄС з європейської стандартизації).

2. Покращити управління і цілісність європейської системи стандартизації (синергія інститутів, бізнесу та суспільства для того, щоб уникнути надмірного впливу суб'єктів з-за меж ЄС або Європейської економічної зони в процесах прийняття рішень під час розроблення стандартів для ключових галузей).

3. Зміцнити європейське лідерство в галузі глобальних стандартів (у т.ч. фінансування проєктів зі стандартизації в країнах Африки, Латинської Америки, Карибського басейну).

4. Підтримка інновацій.

5. Підвищення експертного рівня в галузі стандартизації.

Узгоджені стандарти ЄС забезпечать технічні характеристики, необхідні для відповідності законодавству ЄС. Дотримання узгодженого стандарту забезпечить для продуктів презумпцію відповідності законодавству на всіх рівнях. Це дозволить виробникам отримати доступ до ринку ЄС.

Разом із тим проведення дослідження міжнародних і європейських практик щодо організаційних і нормативних засад із питань стандартизації та суміжних видів діяльності, відповідно до нової європейської стратегії стандартизації, яка передбачає заходи, спрямовані на перетворення стандартизації, на покращення її конкурентоспроможності та сталості, гнучкості в управлінні європейською системою стандартизації тощо. Задля накопичення досвіду важливо долучати до розроблення стандартів дослідницьке співтовариство.

Згідно зі Стратегією, ЄС, як і раніше, є прихильним відкритій та прозорій системі стандартизації відповідно до своїх зобов'язань щодо Угоди СОТ із технічних бар'єрів у торгівлі. До того ж відзначається, що ЄС варто брати до уваги геополітичну ситуацію, що змінилася, бо інші країни починають підходити до міжнародної стандартизації більш стратегічно і отримувати вплив у міжнародних комітетах зі стандартизації. Треті країни все частіше займають більш рішучу позицію зі стандартизації і наполягають на своїх технологічних рішеннях через комітети з технічної стандартизації.

Неперервність функціонування акредитованих органів з оцінки відповідності необхідна для роботи українських підприємств [7]. Задля дерегуляції відносин із питань оцінки відповідності Національне агентство з акредитації надало повідомлення щодо органів, які мають атестат про акредитацію, термін якого спливає. Національне агентство з акредитації України продовжило дію атестатів про акредитацію органів з оцінки відповідності, термін дії яких закінчився або закінчується у період воєнного стану. Вони будуть чинними впродовж року.

Кабінетом Міністрів України схвалюється постанова щодо продовження міжпіврічних інтервалів робочих еталонів, а також пролонгується період калібрування і додається перехідний піврічний період. Зараз ідуть перемовини щодо спрощення процедур сертифікації з оцінки відповідності.

Міністерство економіки та інші інституції України підтримують бізнес-контакти з європейцями, які допоможуть нашій системі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології вижити. Зокрема, формуються шляхи щодо надання он-лайн послуг у ЄС, починаючи від логістичних моментів, моментів на митниці, завершуючи моментами продажу товарів у країнах ЄС, для бажаючих експортувати свою продукцію, а також переліки підприємств промисловості, що функціонують в Україні і мають бажання експортувати свою продукцію за кордон тощо.

У суспільному середовищі активно впроваджуються цифрова трансформація або діджиталізація. Це зміна підходу бізнесу, бізнеспроцесів і взаємовідносин осіб між собою. Яскравий приклад компанії, які є діджиталізованими — це Uber, Airbnb, Facebook.

Наукова комунікаційна мережа (ISC) підписує Спільну заяву про наміри щодо цифрової трансформації в міжнародній науково-якісній інфраструктурі. Міжнародна наукова рада (ISC) – це неурядова організація з унікальним глобальним членством, яка об'єднує понад 200 міжнародних наукових союзів та асоціацій, а також національні та регіональні наукові організації, включаючи академії та дослідницькі ради.

ISC, Комітет з питань даних (CODATA), Міжнародна організація законодавчої метрології (OIML), Міжнародне бюро мір і ваг (BIPM) і Міжнародна конфедерація вимірювань (IMEKO) підписали спільну заяву про наміри «Про цифрову трансформацію в міжнародній науковій та якісній інфраструктурі» 30 березня 2022.

Заява забезпечує платформу для організацій, які підписали, щоб зібратися разом, щоб висловити свою підтримку, у спосіб, який підходить кожній конкретній організації, для розроблення, впровадження та просування цифрової платформи Міжнародної системи одиниць (SI) [8] як частини цифрової трансформації міжнародної наукової та якісної інфраструктури. Очікується, що інші міжнародні організації підпишуть заяву в майбутньому.

Заява є частиною поточної ініціативи Міжнародного комітету мір і ваг (CIPM) та його цільової групи з цифрового SI (CIPM-TG-DSI) щодо розроблення та встановлення всесвітнього уніфікованого та безпечного формату обміну даними на основі Міжнародної системи одиниць.

Голова СІРМ-TG-DSI прокоментував, що підписання спільної заяви знаменує собою проривний крок у трансформації надзвичайно успішної міжнародної наукової та якісної інфраструктури, за цього СІ виступає як важіль довіри в епоху цифровізації.

Спільну заяву підтримано у Всесвітній день метрології 2022 р. — «Метрологія в цифрову еру». Ця тема була обрана тому, що цифровізація та цифровість відповідає інтересам членства цих груп.

Підписуючи заяву, ISC має на меті продовжувати підтримувати цілі своїх членів, а також членів кожної підписаної організації.

Важливо, що Євросоюз схвалив історичне рішення та Україна отримала статус кандидата на членство в ЄС. За це проголосували всі без винятку лідери 27-ми країн Євросоюзу на саміті в Брюсселі. 23 червня 2022 року точно увійде в історію [9]. Це сигнал світові про те, що 27 держав, що входять до Європейського Союзу, вірять у незалежну, суверенну Україну і допоможуть Україні на шляху до членства. Майбутнє ЄС та України – це спільне майбутнє. Статус кандидата відкриває можливості отримання фінансової допомоги у трансформації суспільства, правової системи та економіки на шляху до членства в ЄС, а також триматиме євроінтеграційні реформи країни у пріоритеті. Так, Україні буде доступна фінансова допомога для країн, які готуються до вступу до ЄС. Така допомога може надаватися через гранти, інвестиції або як технічна допомога. Кандидатство також відкриває для України участь у програмах та ініціативах Євросоюзу.

Висновок. Вихід України з Угоди між Урядом України та Урядом Російської Федерації про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації та Угоди між Урядом України та Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації зумовлений тим, що вони не відповідають сучасному стану торговельно-економічних відносин між державами, а також актуальній євроінтеграційній політиці України.

Для зміцнення позицій ЄС на форумах міжнародної стандартизації запроваджено нову стратегію, яка пропонує покращити координацію діяльності зі стандартизації між ЄС та національними органами стандартизації.

Подовжено термін дії атестатів про акредитацію органів з оцінки відповідності, які забезпечують безперервний контроль якості української продукції та швидке відновлення потужності підприємств у безпечних регіонах.

Проводяться комунікації та перемовини з міжнародними партнерами щодо різних проєктів технічної допомоги з питань стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології.

Інформаційні джерела

1 Про проголошення незалежності України: постанова Верховної Ради УРСР від 24.8.1991 №1427-ХІІ.

2 Угода про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації (укр/рос). — Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_102#Text.

3 Режим доступу: <https://ukraineun.org/ukraine-and-un/activities-in-un/#:~:text=%D0%97%201992%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0%20%D1%94,%D0%9E%D0%9E%D0%9D%20%D1%83%20%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D1%96%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%20%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8>.

4 Про припинення дії Угоди між Урядом України та Урядом Російської Федерації про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації та Угоди між Урядом України та Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації : постанова Кабінету Міністрів України від 01 квітня 2022 р. № 392.

5 Про вихід з Угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації : постанова Кабінету Міністрів України від 3 травня 2022 р. № 526. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2022-%D0%BF#Text>.

6 <https://uk.eureporter.co/economy/2022/02/02/new-standardization-strategy/>

7 Режим доступу: <https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=0b18516e-ab6c-42b4-9e02-1cabe57b656a&title=DiiuAtestativProAkreditatsiiuOrganivZOtsinkiVidpovidnostiProdovzheniNaRik>.

8 Режим доступу: <https://council.science/uk/current/blog/joint-statement-of-intent-on-the-digital-transformation-in-the-international-scientific-and-quality-infrastructure/>

9 Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukrayina-otrimala-status-kandidata-nachlenstvo-v-yes>.

Sakhnyuk I.A., Kyrylenko L.V., Bitkov M.Kh., Rudak N.P.

Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

REVIEW OF CERTAIN PRINCIPLES OF STANDARDIZATION AND RELATED ACTIVITIES

***Abstract.** The article examines the current state of standardization, certification, accreditation, conformity assessment and metrology and the relevance of international agreements.*

Given the prevailing economic and social challenges, the role and further development of metrology and metrology activities, standardization and related activities are of extreme strategic importance. The world is considering intentions regarding digital transformation in the international scientific and quality infrastructure, the creation of a globally unified and secure data exchange format based on the International System of Units.

In order to adapt international and European procedures on matters of metrology, standardization and related activities in modern conditions, taking into account the state and characteristics of the Ukrainian economy, social, humanitarian and political development of the country, an appropriate analysis of certain international and regional regulatory documents was carried out.

Keywords: *standardization, metrology, certification, accreditation, conformity assessment, digital transformation.*

УДК 681.54:628.34

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-16

Филипчук Л.В.

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ РЕАГЕНТНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТОКСИЧНИХ ДОМІШОК У НЕПРОТОЧНИХ УМОВАХ

Запропоновано спосіб автоматичного регулювання параметрів знешкодження хромвмісних стічних вод у змішувачі-реакторі періодичної дії. Спосіб полягає в поетапному дозуванні реагентів у воду для поступового зниження окисно-відновного потенціалу (E_h) до граничного значення з безперервним підтримання величини активної реакції (рН) у заданих межах. Керування дозуванням реагентів здійснюється локальними регуляторами, параметри настроювання яких визначаються для кожного етапу та періоду регулювання. Розроблено математичну модель змішувача-реактора періодичної дії як об'єкта керування із змінною структурою та методику синтезу локальних систем керування параметрами E_h та рН. Побудовано математичну модель системи керування та виконано імітаційне моделювання процесу вилучення шестивалентного хрому.

Ключові слова: *стічні води, шестивалентний хром, автоматичне регулювання рН та E_h , ступеневе дозування реагентів, змішувач-реактор періодичної дії.*

Вступ та постановка проблеми. Найбільш небезпечними для людини є промислові стічні води, що вміщують токсичні домішки з окисно-відновними властивостями, такі як ціаніди, шестивалентний хром, феноли. Особливо небезпечним є іони з відновлювальними властивостями, зокрема шестивалентного хрому, які мають канцерогенні та загальнотоксичні властивості. Знешкодження хрому(VI) проводиться шляхом його відновлення до хрому(III), який є значно менш токсичним, за допомогою реагентів-відновників у кислому середовищі при рН менше 3,0.

Існуючі технології знешкодження хрому здійснюються шляхом одноразового дозування кислоти та відновників у непроточний змішувач-реактор, в якому знаходиться стічна вода. Недоліком існуючих систем дозування є те, що в процесі реакції відновлення підвищується активна реакція середовища (рН) стічної води, що значно зменшує ефективність відновлення і потребує безперервної підтримки значення рН в заданих межах і дозування надлишкової кількості відновника. Крім того, для оцінки ступеня відновлення хрому необхідно періодично відбирати проби стічної води на наявність шестивалентного хрому, що значно ускладнює технологічний процес очищення стічних вод. Тому актуальним є розробка систем автоматизованого дозування реагентів з безперервним контролем процесу знешкодження хромвмісних стічних вод і мінімізацією кількості введених реагентів в непроточних умовах.

Метою роботи є проведення моделювання системи автоматизованого дозування реагентів для знешкодження шестивалентного хрому в промислових стічних водах у непроточних умовах

Аналіз існуючого стану. Методи керування процесом очищення хромвмісних стічних вод за результатами прямого безперервного аналізу концентрації шестивалентного хрому у воді практично не застосовуються у зв'язку із складністю методики, апаратури і значною тривалістю лабораторного визначення вмісту цього домішку. Оскільки під час відновлення домішок змінюються окисно-відновні властивості стічної води, то оцінку цього процесу можна проводити за допомогою вимірювання рН та окисно-відновного потенціалу водного середовища (E_h) [1 - 4].

При очищенні промислових стічних вод параметр рН застосовують в основному для контролю процесу повноти осадження важких металів та інших домішок. Для цього використовують позиційні та аналогові системи автоматичного дозування реагентів [5 - 10]. Вимірювання параметру E_h є важливим методом фізико-хімічних досліджень в аналітичній хімії, медицині, біології та багатьох галузях промисловості і оцінки напрямку протікання окисно-відновних процесів [10 - 11].

При очищенні стічних вод величина E_h застосовується для якісного аналізу форми існування різних сполук у водному середовищі за допомогою термодинамічних діаграм «потенціал-рН» (діаграм М. Pourbaix) [12]. У експериментально-виробничих умовах параметри

pH та Eh застосовувались для комплексної оцінки кисло-лужних та окисно-відновних властивостей стічних вод під час реагентного знешкодження різних домішок. Зокрема, найбільш відома автоматизована установка для двоканального вимірювання pH та Eh при реагентному знешкодженні ціаністих стічних вод, в якій застосовувались іонселективні електроди для безперервного визначення концентрації ціанідів [13]. Однак такі автоматизовані установки показали низьку надійність у зв'язку із значним впливом на pH та Eh інших окисно-відновних систем водного середовища.

Багаточисельні спроби використовувати величину Eh для кількісного вимірювання концентрацій окисно-відновних домішок у стічних водах не дали позитивних результатів у зв'язку із багатокомпонентністю водних систем, постійними коливаннями концентрацій компонентів і складним взаємовпливом між параметрами pH та Eh. Зокрема, це було підтверджено під час досліджень вимірювання концентрацій активного хлору у питній воді, окремих забруднюючих домішок у металовмісних стічних водах, оцінки стабільності оборотної води підприємств [3].

В той же час, у зв'язку з розробкою надійних датчиків вимірювання pH та Eh, вторинних перетворювачів перспективним є використання цих параметрів, як непрямих, для більш простого і надійного автоматизованого керування процесами очищення стічних вод від окисно-відновних домішок. В той же час, використання таких автоматизованих систем повинно базуватись на моделюванні процесів реагентного окиснення-відновлення токсичних домішок у змішувачах-реакторах періодичної дії у непроточних умовах.

Методи та прилади. Лабораторні та виробничі дослідження проводились у змішувачі-реакторі періодичної дії з механічною мішалкою, в якому були розміщені датчики pH та Eh. Застосування непроточного змішувача-реактора обумовлювалось необхідністю ступеневого дозуванням реагентів для окремого регулювання pH та Eh і забезпеченням стабілізації цих параметрів у часі після кожного етапу введення реагентів. Вимірювання проводилось на сертифікованих приладах фірми „Prominent”, зокрема переносного вимірювального пристрою Portamess, первинних вимірювальних перетворювачів pH «PHES 112 FE 301 S» (діапазон 1–12 од., робоча температура 0–60 °С, максимальний тиск 3 атм.) та Eh «RHES-Pt-FE 301 В» (робоча температура 0–60 °С, максимальний тиск 3 атм.), вторинних вимірювальних пристроїв «DULCOMETER Compact». Вимірювання величин pH і Eh проводилось після стабілізації значень цих параметрів. Для вимірювання концентрацій важких металів застосовувались стандартні методики проведення хімічних аналізів (колориметричний та потенціометричний) у сертифікованих лабораторіях України та закордонних підприємств. Інформаційною основою для розробки системи автоматичного регулювання параметрів pH та Eh слугували результати експериментальних даних, отримані на промислових підприємствах різних країн, зокрема «Lukasautobrzydu», «Volkswagen» під час експлуатації установок для знешкодження токсичних домішок у стічних водах різноманітного складу.

Для вирішення поставленої задачі застосовувався блок параметричної оптимізації NCD Blockset середовища MatLab-Simulink. Блок призначений для параметричної оптимізації динамічних систем, моделі яких задані в середовищі Simulink. Процедура оптимізації з метою визначення оптимальних параметрів: об'єктів регулювання – у випадку їх параметричної оптимізації, настроювання параметрів регулятора – у випадку оптимізації САР для заданої у вікні Simulink системи вхідних та вихідних величин, а також -графічно допустимих меж зміни перехідних процесів здійснюється блоком NCD автоматично. Число блоків NCD у вікні моделі Simulink, в яких задають межі зміни перехідних процесів у випадку декількох вихідних величин, не обмежується.

Враховуючи взаємну пов'язаність процесів відновлення та підкислення для системи керування, використовувався метод комплексного поетапного регулювання параметрів pH та Eh, який полягає у поетапному, послідовному на кожному із етапів дозуванні реагентів за вимірними значеннями окисно-відновного потенціалу Eh та активної реакції середовища pH з наступною стабілізацією окисно-відновного потенціалу води. Керування процесом, як об'єктом із двома керуючими діями та двома вихідними величинами (рис. 1), здійснюється в наступній послідовності.

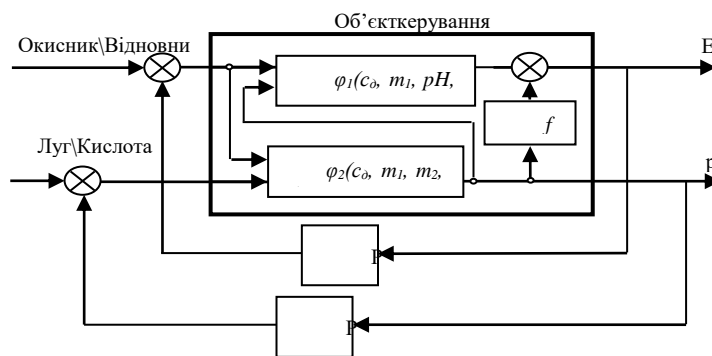


Рис. 1. Структурна схема двоканальної системи керування дозуванням реагентів: P_1 – регулятор Eh; P_2 – регулятор рН; φ_1 – функція перетворення процесу окиснення\відновлення; φ_2 – функція перетворення процесу підкислення\підлужування; $f(pH)$ – залежність Eh від рН; c_0 – концентрація домішок; m_1 – маса доданого окисника\відновника; m_2 – маса доданої кислоти\лугу; t – час

Спочатку у стічну воду дозується соляна кислота для доведення рН стічної води до рН нижче 3,0. Надалі вводиться деяка кількість відновника Na_2SO_3 до зниження Eh першого проміжного значення для часткового відновлення домішок. Після цього протягом визначеного часу протікає процес відновлення домішок без введення реагентів, внаслідок чого стабілізується величина Eh та супутньо протікає підвищення рН. Після стабілізації Eh знову проводиться дозування кислоти для зниження рН. Потім знову дозується відновник до меншого проміжного значення Eh і проводиться стабілізація хімічного процесу. Таке послідовне періодичне дозування реагентів проводиться до досягнення кінцевого значення величини Eh, при якому забезпечується повне окиснення-відновлення токсичних домішок при встановленому значенні рН водного середовища.

Параметри системи керування (кількість етапів n та проміжні значення $Eh_{зад\ i}$) визначають в лабораторних умовах на реальній стічній воді і при необхідності коригують при пусконаладжувальних роботах.

Вихідними даними для методики вибору параметрів є загальний час обробки стоків T , початкове значення окисно-відновного потенціалу $Eh_{поч}$ стічної води, значення потенціалу застосованого реагенту Eh_p , значення активної реакції середовища $pH_{зад}$ для забезпечення необхідних умов протікання реакцій відновлення та період стабілізації процесу відновлення. Методика передбачає встановлення початкової кількості етапів $n=4$, визначення проміжних значень $Eh_{завд\ i}$, шляхом проведення лабораторного дослідження.

Результати досліджень. Результати експериментальних досліджень okazuyut наступне. Незалежно від витрати реагенту та початкових концентрацій домішкою об'єкт досягає при однакових значеннях активної реакції середовища рН, одного і того ж стану рівноваги Eh, який настає при повному вилученні домішок. Це є експериментальним підтвердженням можливості оцінки наявності окисно-відновних домішок за відомим значенням потенціалу реагенту та вимірними значеннями Eh та рН середовища в системах автоматизованого керування процесом очищення.

Об'єкт керування за каналом "витрата відновника – величина Eh" має тільки один стан рівноваги, який залежить від типу реагенту та значення рН середовища і від витрати реагенту не залежить. Тобто об'єкт керування за каналом "витрата відновника – величина Eh" статичної характеристики як такої не має. Керуюча дія – витрата реагенту (відновника) впливає тільки на динаміку перехідних процесів. Такі об'єкти за означенням є нелінійними [14].

Статичні характеристики процесу очищення як об'єкта керування можуть бути визначені тільки за каналом "маса реагенту – параметр стану" в стані рівноваги, який настає після його взаємодії з домішкою (надлишкова концентрація реагенту прямує до нуля). Для отримання стану рівноваги потрібно надати окисно-відновній системі час для її стабілізації. Час стабілізації визначається ефективністю змішування в реакторі-змішувачі та кінетикою реакції відновлення. У стані рівноваги параметр Eh може бути застосований для оцінки ступеня очищення. Для чистих розчинів ця оцінка буде кількісною, а для багатокомпонентних модельних та реальних розчинів – якісною. Залежність концентрації хрому(VI) від окисно-відновного потенціалу у чистому розчині наведена на рисунку 2.

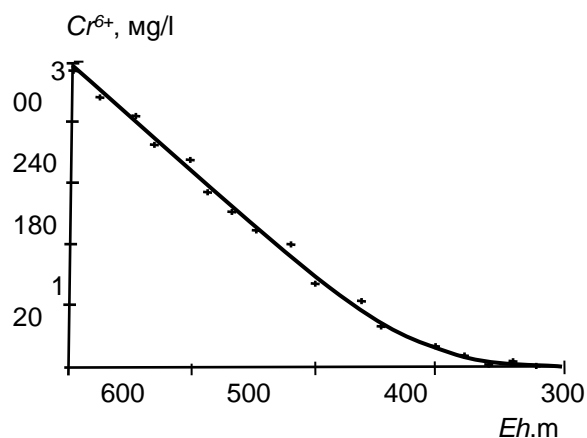


Рис. 2. Експериментальна залежність концентрації хрому(VI) від окисно-відновного потенціалу (Eh) при відновленні хрому(VI) у чистому розчині реагентом Na_2SO_3 при початковій концентрації хрому(VI) 300 мг/л та рН = 2,4

Реактор періодичної дії як об'єкт керування є суттєво нелінійним у всьому діапазоні зміни Eh протягом часу реакції очищення від початкового значення, яке залежить від хімічного складу стічної води, до кінцевого значення, яке залежить від застосованого відновника та величини рН. В умовах багатокомпонентних сумішей, коли кінетика хімічних реакцій є невідомою, аналітичні методи побудови математичної моделі та дослідження процесу очищення не можуть бути застосовані. Однак, отримані експериментальні дані дають можливість побудови моделі методами апроксимації.

Перехідні процеси на кожному етапі та періоді обробки мають аперіодичний характер і можуть бути апроксимовані лінійними диференціальними рівняннями, порядок та параметри яких для кожного етапу є різними. Отже, об'єкт керування може бути апроксимований як об'єкт із змінною структурою та параметрами, які змінюються протягом часу повної обробки стоків.

Математична модель процесу очищення як об'єкта керування із змінними параметрами по періодах регулювання витрати реагентів та стабілізації для кожного із етапів регулювання для k -того етапу має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & \text{Етап } k \\
 & \text{(період дозування кислоти)} \\
 & \begin{cases} T_{12}^{(k)} \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = k_{21}^{(k)} u_2(t), y_1(t_{k1}) = y_{1k1} \\ T_{22}^{(k)} \frac{dy_2(t)}{dt} + y_2(t) = k_{22}^{(k)} u_2(t), y_2(t_{k1}) = y_{2k1} \end{cases}, \quad t_{k1} \leq t < t_{k2}, \\
 & \text{Етап } k \\
 & \text{(період дозування відновника)} \\
 & \begin{cases} T_{11}^{(k)} \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = k_{11}^{(k)} u_1(t), y_1(t_{k2}) = y_{1k2} \\ T_{21}^{(k)} \frac{dy_2(t)}{dt} + y_2(t) = k_{12}^{(k)} u_1(t), y_2(t_{k2}) = y_{2k2} \end{cases}, \quad t_{k2} \leq t < t_{k3} \\
 & \text{Етап } k \\
 & \text{(період стабілізації)} \\
 & \begin{cases} y_1(t) = y_1(t_{k3}) + C_1^{(k)} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1^{(k)}}}\right) \\ y_2(t) = y_2(t_{k3}) + C_2^{(k)} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_2^{(k)}}}\right) \end{cases}, \quad t_{k3} \leq t < t_{k4}
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $y_1(t)$, $y_2(t)$ – зміна параметра Eh та рН; $u_1(t)$, $u_2(t)$ – витрати відновника та кислоти відповідно; $T_{11}^{(k)}$, $T_{12}^{(k)}$, $T_{21}^{(k)}$, $T_{22}^{(k)}$ та $k_{11}^{(k)}$, $k_{12}^{(k)}$, $k_{21}^{(k)}$, $k_{22}^{(k)}$ – сталі часу та коефіцієнти передачі об'єкта на періодах регулювання; $T_1^{(k)}$, $T_2^{(k)}$ – сталі часу на періоді стабілізації; $C_1^{(k)}$, $C_2^{(k)}$ – константи (фізично це різниці між значеннями параметрів в кінці та на початку періодів стабілізації).

Модель (1) є апроксимацією нелінійного нестационарного об'єкта з двома входами та двома виходами лінійним стаціонарним об'єктом із змінною структурою по діапазонах. Моделювання виконане за розробленим алгоритмом керування для параметрів моделі та параметрів настроювання локальних ПІ-регуляторів, визначених для експериментальних даних перехідного процесу поетапного відновлення хрому(VI) для початкового значення Eh=790 мВ. Графіки перехідного процесу зміни Eh наведено на рис. 3.

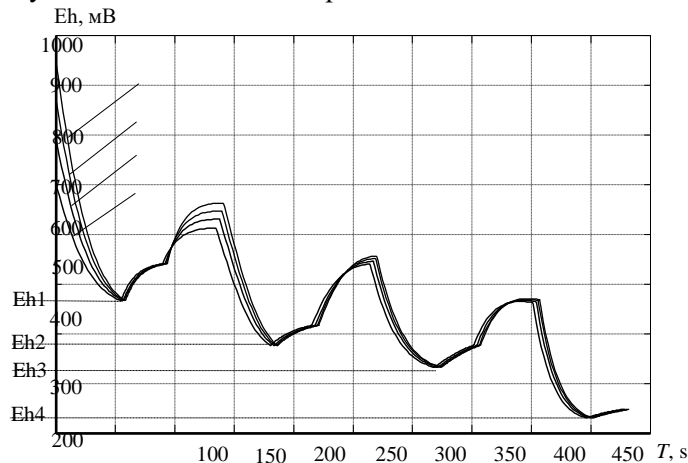


Рис. 3. Графіки перехідних процесів зміни величини Eh в системі керування процесом відновлення хрому(VI) при збуреннях зміною початкової концентрації домішок, що відповідають початковим значенням $Eh_{поч}$: 1 – $Eh_{поч} = 700$ мВ; 2 – $Eh_{поч} = 790$ мВ; 3 – $Eh_{поч} = 850$ мВ; 4 – $Eh_{поч} = 950$ мВ

Результати моделювання показують, що перехідний процес при $Eh_{поч}=790$ мВ відповідає перехідному процесу поетапного відновлення, а зміна початкових умов від номінального значення до 950 мВ призводить до максимального зростання величини рН до 4,05, що є в допустимих межах для даного процесу.

Методика визначення параметрів регулятора в системі керування із зворотнім зв'язком для реакторів періодичної дії з поетапним періодичним регулюванням параметрів полягає в постановці задачі синтезу системи керування та визначення шляхів її розв'язку. Вихідними даними для синтезу системи є параметри об'єкта, початковий стан об'єкта $y(t_0)$, час регулювання t_f , завдання регулятора y_z (кінцевий стан об'єкта $y(t_f)$), кількість реагенту M , необхідна для такої зміни стану, та бажаний характер перехідного процесу $y_e(t)$. Вихідні дані отримують шляхом проведення експериментів.

Ставиться задача знаходження таких параметрів регулятора, при яких об'єкт із стану $y(t_0)$ за час t_f буде переведений у стан y_z , затративши для цього кількість реагенту M , відтворивши при цьому характер перехідного процесу $y_e(t)$.

Завдання може бути вирішене шляхом розв'язку наступної задачі оптимізації: знайти такі параметри регулятора K та Ki , при яких критерій досягне мінімального значення.

$$\min_{K, Ki} I(K, Ki) = R_1 |(y(t_f, K, Ki) - y_z)| + R_2 \left(\int_0^{t_f} |y(t, K, Ki) - y_e(t)|^n dt \right) + R_3 \left(\int_0^{t_f} |u(t, K, Ki)| dt - M \right) \quad (2)$$

Класичним аналітичними методами така задача не розв'язується. Застосування оптимізаційних процедур вимагає задання значень штрафних коефіцієнтів R_1 , R_2 , та R_3 , які наперед невідомі. В роботі задача розв'язана в середовищі MatLab-Simulink із застосуванням блоків параметричної оптимізації NCD Blockset – програмного засобу для вирішення задач параметричної оптимізації динамічних систем.

За подібним алгоритмом можна виконувати моделювання процесу знешкодження інших токсичних домішок з різними окисно-відновними властивостями при очищенні стічної води у непроточних умовах у змішувачі-реакторі непроточної дії.

Висновки. Розроблено систему комплексного багатоступінчастого керування процесом очищення шляхом поетапного регулювання параметрів Eh та рН. Кожен із етапів керування складається із послідовності періодів дозування реагентів та періоду стабілізації. Керування дозуванням реагентів здійснюється локальними регуляторами, параметри настроювання яких визначаються для кожного етапу та періоду регулювання.

Також розроблено математичну модель змішувача-реактора періодичної дії як об'єкта керування із змінною структурою та методику синтезу локальних систем керування параметрами Eh та рН при їх поетапному періодичному регулюванні.

Побудовано математичну модель системи керування та виконано імітаційне моделювання процесу вилучення шестивалентного хрому. Результати моделювання показують, що розроблену систему керування, включаючи методику вибору її параметрів та алгоритм роботи, можна застосовувати для автоматизації процесів очищення багатокомпонентних металовмісних стічних вод від окисно-відновних токсичних домішок на очисних станціях промислових підприємств.

Інформаційні джерела

1. H. T. Kim H, G. S. Kim, S. W. Shin, S. H. Oh, K. H. Kim., "Application of ORP and pH as controlling factors in sequencing batch reactor", KSCE, Journal of Civil Engineering, Vol. 9(2), pp. 73–79, 2005.
2. R.–F. Yu, H.–W. Chen, W.–P. Cheng, Y.–C. Shen, "Dynamic control of disinfection for wastewater reuse applying ORP/pH monitoring and artificial neural networks", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 52, Is. 8–9, pp. 1015–1021, July 2008.
3. V. Fylypchuk, R. Salghi, L. Fylypchuk, "Catalytic oxidation of phenol waste waters by hydrogen peroxide with the help of step-type regulation by redox-potential", Appl. J. Envir. Eng. Sci., 4 N°2, pp. 189–197, 2018.
4. T. Zipper, N. Fleischmann, R.Haberl, "Development of a new system for control and optimization of small wastewater treatment plants using oxidation–reduction potential", Water science and technology, Vol 38.3, pp. 307–314, 1998.
5. F. Fu, Q. Wang, "Removal of heavy metal ions from wastewaters. A review", Journal of Environmental Management, Vol. 92, Is 3, pp. 407 – 418, March 2011.
6. R.Kurniawan, T.Agustiono, "Physico–chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals", Chemical Engineering Journal, Vol .118.1, pp. 83–98, 2006.
7. J. W. Patterson, "Industrial Wastewater Treatment Technology", London: Butterworth Publishers, 1995, 420 p.
8. H. Hosono, W.Satoh, M. Toya, K. Morimoto, J. Fukuda, H. Suzuki, "Microanalysis system with automatic valve operation, pH regulation, and detection functions", Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.132, Is. 2, pp. 614–628, 16 June 2008.
9. F. Fenglian, Q. Wang, "Removal of heavy metal ions from wastewaters", Journal of Environmental Management, Vol. 92, Is. 3, pp. 407–418, 2011.
10. A. Fosten, "Control of chemical dosing in wastewater treatment", World Pumps, Vol 2007, is.490, pp. 16–19, July 2007.
11. J. Serralta, A. Seco, J. Ferrer, D. Aguad, "Real–time control strategy for nitrogen removal via nitrite in a SHARON reactor using pH and ORP sensors", Process Biochemistry, Vol. 47, Is. 10, pp. 1510–1515, October 2012.
12. M. Pouerbaix, "Lectures on electrochemical corrosion", New York-London, Plenum Press, 1973, 487 p.
13. В.Л. Филипчук, В. В. Древецький, Л.В. Филипчук, М.І. Клепач. Природоохоронні системи очищення металовмісних стічних вод та автоматизоване регулювання їх параметрів. – Рівне : НУВГП, 2016. – 288 с.
14. Bhaskar D.Kulkarni, Sanjeev S.Tambe "Nonlinear pH control", Chemical Engineering Division, National Chemical Laboratory, India, October 2001.

L. Filipchuk

SIMULATION OF THE OPERATION OF THE AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROLLING THE REAGENT RECOVERY OF TOXIC IMPURITIES IN NON-FLOW CONDITIONS

A method of automatic control of chromium-containing wastewater disposal parameters in a batch reactor mixer is proposed. The method consists in stepwise dosing of reagents into water to gradually reduce the redox potential (Eh) to the limit value with continuous maintenance of the value of the active reaction (pH) within specified limits. Reagent dosing is controlled by local regulators, the settings of which are determined for each stage and period of regulation. A mathematical model of a batch reactor-reactor as a control object with a variable structure and a method for the synthesis of local control systems for the parameters of Eh and pH have been developed. A mathematical model of the control system is constructed and simulation modeling of the hexavalent chromium extraction process is performed.

Key words: wastewater, hexavalent chromium, automatic pH and Eh adjustment, stepwise dosing of reagents, batch-reactor mixer.

УДК 631.356.2

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-17

Фльонц І.В. к.т.н., доц, Юрчишин Н.І. викладач методист
ВСП «Бережанський фаховий коледж НУБіП України»

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНО СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТЕРА-СЕПАРАТОРА КОРЕНЕПЛОДІВ З ХВИЛЕПОДІБНИМ УТРИМУВАЧЕМ

Проектування нових коренезбиральних комбайнів, а також їх систем доочищення конеплодів повинне спрямовуватись на інтенсифікацію очищення від вороху з одної сторони і зменшення пошкоджень самих коренеплодів. Дотримання цих вимог дозволить зменшити вивезення з поля верхнього родючого шару ґрунту на цукрові заводи і покращення якості самих коренеплодів шляхом зменшення їх пошкоджень, а разом і тим підвищення тривалості зберігання.

Запропонована конструкція є вдосконаленням попереднього варіанта транспортера-сепаратора для коренеплодів (патент № 31875) [5] недоліком якого на нашу думку є те, що транспортер виконує дві функції: транспортування і доочищення коренеплодів, а вдосконалені запропоновані конструкції він виконує лише доочищення. Адже коренеплоди знаходяться у комірках хвилеподібного утримувача і перекидаються з одної в іншу за допомогою різкого вивільнення підпружинених скребків транспортера. В наслідок чого зменшується зусилля на привідному валі транспортера на пасивне переміщення коренеплодів у гору.

У статті приведено вдосконалену конструкцію транспортера-сепаратора коренеплодів з хвилеподібним утримувачем коренеплодів. Представлене теоретичне обґрунтування його раціональних конструктивно-силових параметрів.

Ключові слова: транспортер-сепаратор, доочищення, сепарація.

Постановка проблеми. Під час збирання коренеплодів велика кількість налиплого ґрунту вивозиться з поля, це зумовлено насамперед погодними умовами і ступенем сепарації, який досягається на доочисних системах коренезбиральної техніки. На даний час незважаючи на значну кількість наукових праць присвячених очищенню коренеплодів під час їх збирання, ще досі існує потреба у створенні конструкцій робочих органів для сепарації коренеплодів, що повинні передбачати можливість регулювання інтенсивності впливу на коренеплоди, в залежності від їх врожайності при різних ґрунтово-кліматичних умов під час збирання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із аналізу праць з даного питання можна зробити висновок, що однією з актуальних тенденцій в розробленні конструкцій та обґрунтуванні конструктивно-кінематичних параметрів очисників коренеплодів є пошук компромісу між ступенем очищення коренеплодів та їх пошкодженням. Так, в працях [1; 2; 3] наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень різних типів доочисників коренеплодів в основному використовуються на основі шнекових та пруткових транспортерів. Для встановлення впливу на процес доочищення коренеплодів визначались межі таких раціональних параметрів як частота обертання робочих органів, поступальна швидкість пруткових транспортерів-доочисників, конструктивні та кінематичні параметри коливних скребків, довжина ефективного шляху переміщення коренеплодів в технологічних руслах.

Мета роботи: Встановлення аналітичних залежностей впливу конструктивних параметрів елементів зчеплення кулачка з роликком на величину переміщення полотна транспортера при якому здійснюється їх контакт, а також визначення максимального кута повороту скребків.

Реалізація роботи: Транспортер-сепаратор коренеплодів з хвилеподібним утримувачем коренеплодів (пат. № 117110) [6] зображено на рис. 1-3. Монтується на рамі 1, на якій встановлені ведучий 2 і ведений 3 барабани, на яких змонтоване пруткове полотно 4 із закріпленими на ньому скребками 5. Над транспортером-сепаратором над певній висоті закріплюється хвилеподібний утримувач коренеплодів 6, що кріпиться до рами і має можливість його переміщення перпендикулярно до пруткового полотна. Він виконаний із профільних смуг, які розміщені на певній відстані одна від одної, що дозволяє утримувати коренеплоди у відповідних комірках. Крім цього профільні смуги монтуються із таким зазором, щоб між ними могли вільно проходити пальці скребків. Прутки 7 з певним кроком охоплюють скоби 8, які закріплені до корпусу скребка 5, крім того прутки скобою і внутрішньою вставкою

9 зовнішньої пластини охоплюється із зазором, що дає можливість їх обертання навколо осі прутка. До скребок приєднані ролики привідного механізму 10, що періодично контактують з опорним елементом 11, який розміщується на рамі таким чином, що в момент його виходу з контакту з роликом привідного механізму скребок гарантовано контактує з коренеплодом який розміщується в комірці хвилеподібного утримувача.

Скребки у напрямку руху пруткового полотна підтиснуті пружиною 12, яка іншою стороною опирається на важіль 13, який шарнірно закріплений на прутку транспортера-сепаратора. Переміщення важеля через ролик 14, обмежується упором 15.

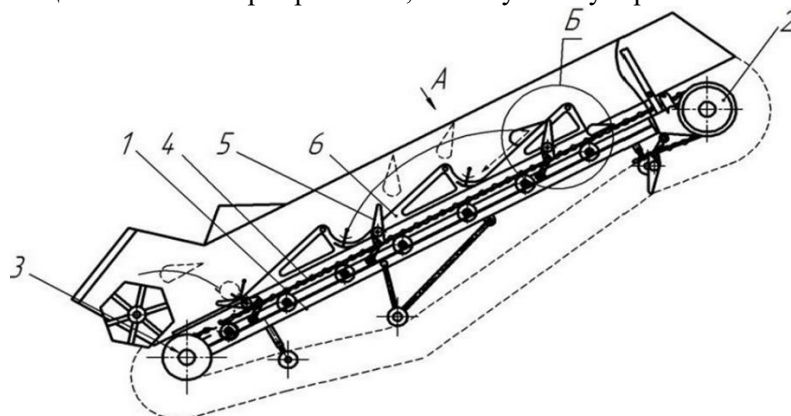


Рис. 1. Транспортер-сепаратор коренеплодів з хвилеподібним утримувачем коренеплодів

A C

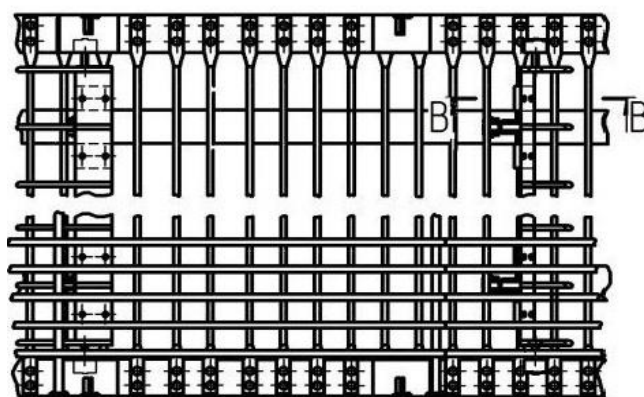


Рис. 2. Видяг А транспортера-сепаратора коренеплодів з хвилеподібним утримувачем коренеплодів

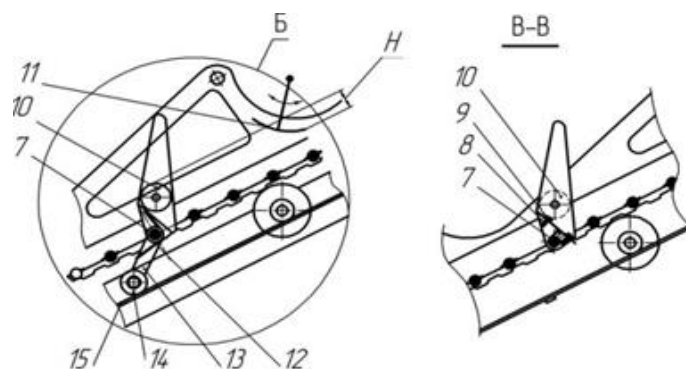


Рис. 3. Привідний механізм скребок вигляд Б та розріз В-В

В процесі роботи коренеплоди потраплятимуть у першу комірку хвилеподібного утримувача. Скребок, який шарнірно закріплений на прутку полотна транспортера-сепаратора рухається у напрямку вивантаження коренеплодів до моменту контакту ролика привідного механізму 10 з опорним елементом 11, за умови наявності перекриття «Н». Це призводить до провертання скребок навколо осі прутка тим самим деформує пружину на певний кут, який визначається величиною перекриття «Н» і положенням виходу із зачеплення ролика привідного механізму відносно опорного елемента. Далі, під дією сили пружини скребки, які в цей момент

вже контактують з коренеплодами розміщеними у перші комірці хвилеподібного утримувача, здійснюють зворотний рух і під дією сил інерції, викидаються у наступну комірку хвилеподібного утримувача. Взаємодія з профілями хвилеподібного утримувача призводить до очищення коренеплодів шляхом їх струшування, а також перекочування у зворотньому напрямку до контакту з коміками утримувача, що також сприятиме додатковому очищенню поверхні коренеплодів від налиплого ґрунту.

Метою теоретичного розрахунку є встановлення аналітичних залежностей впливу конструктивних параметрів елементів зачеплення ролика з кулачком на величину переміщення полотна, при якому здійснюється їх контакт, а також максимального кута повороту скребків перед викиданням коренеплодів на пруткове полотно. Розрахункова схеми зображена на рис. 4

Визначимо початковий кут контакту φ_n між лінією, що з'єднує осі ролика і циліндричної поверхні кулачка та вертикальною площиною, яка проходить через вісь ролика, відносно постійних параметрів радіуса ролика R і радіуса кулачка r , а також регульованої величини перекриття між поверхнею кулачка та ролика Δ

$$\cos \varphi_n = \frac{R - \Delta + r}{R + r},$$

$$\varphi_n = \arccos \left[\frac{R - \Delta + r}{R + r} \right] \quad (1)$$

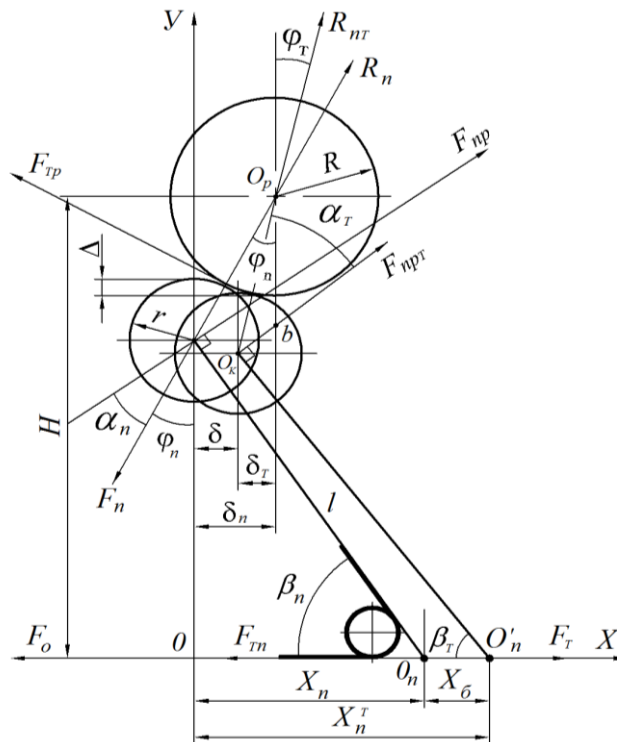


Рис.4. Схема для визначення конструктивних параметрів елементів зачеплення ролика з кулачком скребків полотна

Після чого визначаємо початкову величину кута β_n між лінією, що з'єднує вісь циліндричної поверхні кулачка в вісь прутка, відносно якого відбувається провертання групи скребків, та площиною робочої гілки пруткового полотна OX , з умови

$$(R + r) \cos \varphi_n + l \sin \beta_n = H, \quad (2)$$

де l – довжина важеля, тобто відстань від осі циліндричної поверхні кулачка до осі прутка, H – відстань від осі ролика до площини полотна, яка проходить через осі прутків.

Підставляючи (1) в (2) отримаємо

$$R - \Delta + r + l \sin \beta_n = H$$

$$\beta_n = \arcsin \left(\frac{H - R + \Delta - r}{l} \right), \quad (3)$$

Оскільки величина l є сталою, то визначимо початкове значення відстані X_n від вертикальної осі OY до осі поперечного прутка т. O_n , відносно якого здійснюється провертання кулачка зі скребками

$$X_n = l \cos \beta_n,$$

$$X_n = l \cos \left[\arcsin \left(\frac{H - R + \Delta - r}{l} \right) \right]. \quad (4)$$

Звідки біжуче зміщення полотна X_δ , при якому відбуватиметься контакт кулачка з роликком визначається

$$X_\delta = X_n^T - X_n, \quad (5)$$

де X_n^T – текуче зміщення осі прутка, стосовно якого відбувається провертання групи скребків відносно осі OY .

Величина X_n^T визначається з умови

$$X_n^T = l \cos \beta_T + \delta, \quad (6)$$

де δ - величина зміщення осі циліндричної поверхні кулачка відносно осі OY .

Встановимо залежність для величини β_T

$$(R + r) \cos \varphi_T + l \sin \beta_T = H,$$

$$\beta_T = \arcsin \left[\frac{H - (R + r) \cos \varphi_T}{l} \right], \quad (7)$$

Величина δ визначається з умови

$$\delta = \delta_n - \delta_T = (R + r) \sin \varphi_n - (R + r) \sin \varphi_T = (R + r)(\sin \varphi_n - \sin \varphi_T), \quad (8)$$

Підставляючи (2.7) і (2.8) у (2.6) отримаємо:

$$X_n^T = l \cos \left\{ \arcsin \left[\frac{H - (R + r) \cos \varphi_T}{l} \right] \right\} + (R + r)(\sin \varphi_n - \sin \varphi_T) \quad (9)$$

Таким чином в загальному випадку величина X_δ визначається з умови

$$X_\delta = l \cos \left\{ \arcsin \left[\frac{H - (R + r) \cos \varphi_T}{l} \right] \right\} +$$

$$+ (R + r)(\sin \varphi_n - \sin \varphi_T) - l \cos \left\{ \arcsin \left[\frac{H - R + \Delta - r}{l} \right] \right\} \quad (10)$$

При цьому значення кута φ_n встановлюється з умови (2.1), а величина кута φ_T задається в межах від φ_n до 0° .

Максимальна величина кута повороту скребків відносно осі прутка полотна транспортера визначається з умови

$$\beta_{\max}^{\text{ноє}} = \beta_n - \beta_{\min}^T, \quad (11)$$

де β_{\min}^T - мінімальне значення кута β при $\varphi_T = 0^\circ$.

З урахуванням (2.3) і (2.7) отримаємо

$$\beta_{\max}^{\text{ноє}} = \arcsin \left(\frac{H - R + \Delta - r}{l} \right) - \arcsin \left(\frac{H - (R + r)}{l} \right) \quad (12)$$

Враховуючи реальні конструктивні параметри типових скребкових пруткових транспортерів коренезбиральних машин при проведенні аналізу вище виведених формул величину l доцільно вибрати в межах $l = [l_{\min} = H - R + \Delta - r; l_{\max} = H - R + \Delta - r + 6\text{мм}]$.

В першому випадку центральна вісь циліндричної поверхні кулачка розташована в одній площині з віссю прутка, відносно якого відбувається провертання групи скребків (тобто важіль розташований вертикально). В другому випадку, враховуючи відстань між центрами сусідніх прутків, яка рівна 40мм, центральна вісь циліндричної поверхні кулачка максимально зміщена від осі прутка, відносно якого відбувається провертання групи скребків в сторону проти напрямку руху полотна.

Виходячи з реальних геометричних розмірів елементів скребкових транспортерів при аналізі залежностей конструктивним параметром доцільно надавати такі значення $R = 20...40$ мм; $r = 10...16$ мм; $\Delta = 4...10$ мм; $H = 60...100$ мм. При цьому, при дослідженні впливу одного з конструктивних параметрів на шукані величини, інші залишаються незмінними і їх абсолютні значення становлять: $R = 30$ мм; $r = 13$ мм; $\Delta = 7$ мм; $H = 80$ мм.

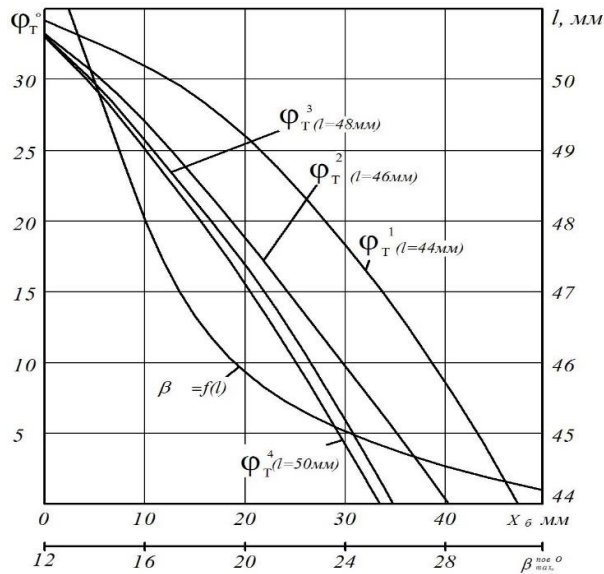


Рис.5. Залежності біжучого зміщення полотна X_b , при якому відбувається контакт кулачка з роликом відносно текучого кута Φ_T , а також максимального повороту скребоків $\beta_{max}^{нов} = f(l)$.

На рис.5 зображено графічні залежності біжучого значення переміщення полотна X_b , при якому відбувається контакт кулачка з роликом відносно текучого кута їх контакту Φ_T , а також максимального кута повороту скребоків $\beta_{max}^{нов} = f(l)$. З їх аналізу встановлено, що збільшення величини l в діапазоні від 44 до 50 мм призводить до зменшення величини X_b на 41%. Особливо різке падіння величини X_b спостерігається в початковий момент β_n від 90° (коли вісь циліндричної поверхні ролика та вісь прутка, відносно якого відбувається провертання скребоків, знаходяться у вертикальній площині) в сторону зменшення.

Також встановлено, що максимальний кут повороту скребоків відносно основи полотна $\beta_{max}^{нов}$ спостерігається при $\beta_n = 90^\circ$, а зростання величини l спричиняє зменшення його величини.

Даний фактор необхідно враховувати при підборі жорсткості пружин, які підтискають скребки очисного транспортера та кута його нахилу до горизонту.

Зазначимо, що підбір параметрів пружних елементів потрібно проводити з урахуванням врожайності коренеплодів, поступальної швидкості як самої коренезбиральної машини, так і лінійної швидкості скребкового полотна. Це дозволить встановити розрахункову масу коренеплодів, які транспортуються окремою групою скребоків перед їх викиданням на решітчасту поверхню полотна для доочищення. В той же час зміщення ролика відносно осі OY дозволяє регулювати величину його перекриття Δ з циліндричною поверхнею кулачка і відповідно максимальний кут повороту скребоків.

Висновки

На основі проведеного аналізу існуючих сепаруючих транспортерів та виявлених недоліків запропонована вдосконалена конструкція транспортера-сепаратора коренеплодів з хвилеподібним утримувачем.

Виведені аналітичні залежності впливу конструктивних параметрів елементів зачеплення кулачка з роликом на величину переміщення полотна, при якому здійснюється їх контакт, а також визначено максимальний кут повороту скребоків.

Визначено раціональні конструктивні параметри елементів зчеплення групи коливних скребоків.

Інформаційні джерела

1.Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні: монографія / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, Р.М. Рогатинський, С.В. Синій, Ю.Б. Гладь, В.В. Градовий. Тернопіль: Осадца Ю.В., 2020. – 216 с.

2.Nevko R.B., Tkachenko I.G., Khomyk N.I., Gumeniuk Y.P., Flonts I.V., Gumeniuk O.O. Determination of technical-and-economic indices of root crop conveyer-separator during their motion on curved path. INMATEH: Agricultural engineering. 2020. Vol. 61, no. 2. PP. 175 – 182. Bucharest/Romania.

3.Барановський В. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин / В. Барановський // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2006.- Т.11, №2. – С.67–75.2.

4.Гевко Р. Б. Розрахунок конструктивно-кінематичних параметрів стрічкового транспортера-очисника / Р. Б. Гевко, І. І. Павх, Ю. Б. Гладь, І. Г. Ткаченко // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. – Випуск 5. – Луцьк: Ред-вид. відділ ЛДТУ, 1999. – С. 46–53.

5.Патент України на корисну модель Транспортер-сепаратор для коренебульбо-плодів № 31875 Україна. МПК (2006)A01D 17/00. u200715031, заявл. 29.12.2007, опубл. 10.04.2008, бюл. № 7

6.Патент України на корисну модель Транспортер-сепаратор коренеплодів з хвилеподібним утримувачем коренеплодів №117110, МПК (2006), A01D 91/00, A01D 90/00u201701009; заявл. 03.02.2017; опубл. 12.06.2017, бюл. № 11.

I.Flonts Ph. D., N. Yurchyshyn, Methodist teacher

Separated subdivision of National university of life and environmental sciences of ukraine Berezhany professional college

DETERMINATION OF THE STRUCTURAL AND STRENGTH PARAMETERS OF THE TRANSPORTER-SEPARATOR OF ROOT FRUITS WITH A WAVE-SHAPED HOLDER

The design of new root-harvesting combines, as well as their post-cleaning systems, should be aimed at intensifying the cleaning of plant residues and reducing damage to the root crops themselves. Compliance with these requirements will reduce the removal of the top fertile soil layer from the field to sugar factories and improve the quality of the root crops themselves by reducing their damage, and at the same time increasing the duration of storage.

The proposed design is an improvement of the previous version of the transporter-separator for root crops (patent No. 31875), the disadvantage of which, in our opinion, is that the transporter performs two functions: transportation and cleaning of root crops, while the improved proposed design performs only cleaning. After all, the root crops are in the cells of the wave-shaped holder and are thrown from one to another with the help of a sharp release of the spring-loaded scrapers of the conveyor. As a result, the effort on the drive shaft of the conveyor to passively move root crops uphill is reduced.

The article presents an improved design of the transporter-separator of root crops with a wave-shaped root crop holder. The theoretical justification of its rational design and strength parameters is presented.

Key words: conveyor-separator, additional purification, separation.

УДК 631.358.42

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-18

Фльонц О.В.

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ТЕОРИТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПОДАЧІ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ В ЗОНУ РІЗАННЯ ДИСКОВИМИ НОЖАМИ

Останнім часом в приводах сільськогосподарських машин (СГМ), стрічкових і пруткових транспортерів широко застосовують конвеєрні стрічки з відповідними шліцевими виступами замість ланцюгових передач, для зчеплення з відповідними трапецевидними виступами приводних елементів, які мають цілий ряд переваг перед ланцюговими.

Промисловість Німеччини випускає такі гумово – бавовняні конвеєрні стрічки в рулонах шириною 0,9...2м., довжиною 50 м. І експортує їх в різні країни світу, в тому числі і в Україну.

Створення нових типів машин і механізмів транспортно-технологічних систем сприяє подальшому розвитку народного господарства та розширенню їх номенклатури, підвищенню продуктивності праці за рахунок досягнення науково-технічного прогресу.

Ключові слова: конвеєрна стрічка, транспортно-технологічні системи, зона різання, розрахункова схема.

Мета роботи. Метою роботи є технологічні передумови проектування подаючих систем установок для розрізання конвеєрної стрічки на смугу.

Виклад основного матеріалу. Широкого застосування в приводах машин стрічкових і пруткових транспортерів замість ланцюгових передач набули конвеєрні стрічки (КС) з гладкими відкритими трапецієподібними виступами для зачеплення з відповідними шліцевими виступами на приводних валах, що забезпечує передачу обертового руху без пробуксовування та перекосів. До їх переваг належать безшумність роботи та зменшення пошкодження коренеплодів в процесі транспортування. Промисловість Німеччини експортує такі гумово-бавовняні конвеєрні стрічки в рулонах шириною 0,9-2м і довжиною 50м у різні країни світу, в тому числі і Україну. Для одночасного розрізання рулонів на смуги певної ширини з можливістю її регулювання виникла проблема у створенні відповідного устаткування з блоками різальних інструментів і механізмів регулювання відстані між ними.

Лише в одному бурякозбиральному комплексі машин КС-6Б, КС-6В, КБ-6, РКМ-6 (01-06), МКК-6 (02-07) – використовують відповідно два і чотири транспортери різного функціонального призначення з конвеєрними стрічками відповідних розмірів замість ланцюгових передач (рис.1).

Технологічні передумови проектування подаючих систем установок для розрізання конвеєрної стрічки.

Розрахункову схему механізму подачі конвеєрної стрічки в зону різання роликівими підтримуючими елементами представлено на рис. 1.

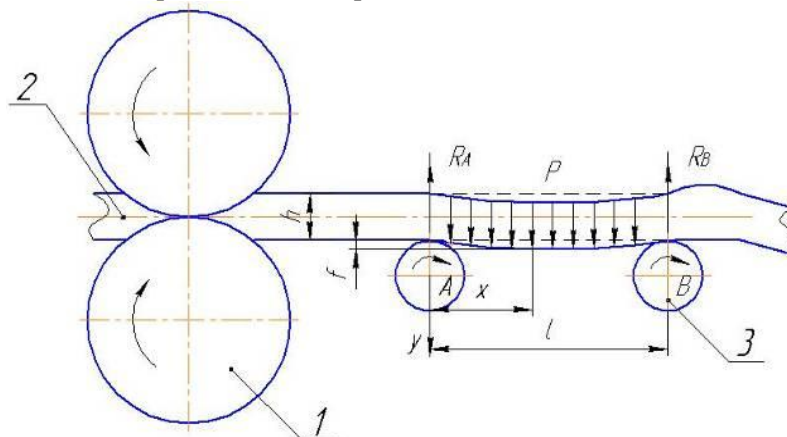


Рис. 1. Розрахункова схема механізму подачі гладкої конвеєрної стрічки в зону різання дисковими ножами:

1 – дискові ножі; 2 – стрічка; 3 – опорні ролики

На рис. 1 зображено стрічку 2, яка рухається по двох опорних роликах 3. Розрахункову схему руху стрічки можна розглядати як балку на двох опорах A і B із рівномірно розподіленим навантаженням p від дії власної ваги стрічки.

Реакції опор в цьому випадку визначають за залежностями:

$$R_A = \frac{pl}{2}; \quad R_B = \frac{pl}{2}, \quad (1)$$

де R_A, R_B – відповідно реакції опорних роликів A, B , Н;

l – віддаль між сусідніми опорними валами, мм.

Момент гнуття конвеєрної стрічки на роликах визначено за залежністю:

$$M = \frac{1}{2} p \cdot l \left(x - \frac{x^2}{l} \right); \quad (2)$$

$$M_{\max} = \frac{pl^2}{8}, \text{ при } x = \frac{l}{2}.$$

Рівняння лінії зігнутої стрічки має вигляд:

$$\gamma = \frac{p \cdot x}{24EI} (l^3 - 2 \cdot l \cdot x + x^3), \quad (3)$$

де x – плече прикладання сили, м.

При цьому максимальний прогин стрічки, який утворюється по середині між опорними роликами при $x = \frac{l}{2}$, який дорівнює:

$$f = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{EI}, \quad (4)$$

де E – модуль Юнга для матеріалу стрічки, МПа;

I – осьовий момент інерції поперечного перерізу стрічки, мм⁴;

p – рівномірне розподілене навантаження від власної ваги стрічки, Н/мм.

Рівномірне навантаження роликів конвеєрної стрічки визначають за залежністю:

$$p = 10bh\gamma, \quad (5)$$

де b – ширина стрічки, мм;

h – товщина стрічки, мм;

γ – густина матеріалу стрічки, кг/мм³.

Осьовий момент інерції

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}. \quad (6)$$

Підставляючи значення формули (6) у формулу (4), одержимо залежність для визначення величини прогину конвеєрної стрічки між опорними валами при її подачі в зону розрізання:

$$f = 1,56 \cdot \frac{\gamma \cdot l^4}{E \cdot h^2}. \quad (7)$$

Залежність віддалі l між роликами A і B від товщини та прогину стрічки визначають за формулою:

$$l = \sqrt[4]{\frac{f \cdot E \cdot h^2}{1,56 \cdot \gamma}}. \quad (8)$$

На рис. 2 і 3 наведено графічні залежності величини прогину конвеєрної стрічки відповідно від її товщини та від відстані між роликами, а на рис. 4 представлено залежності розміщення опорних роликів від товщини конвеєрної стрічки.

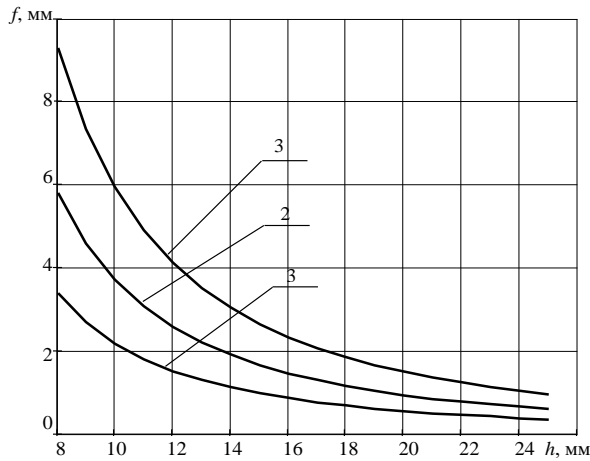


Рис. 2. Графік залежності прогину стрічки від відстані між опорними роликками:
1 – $h=10$ мм; 2 – $h=15$ мм; 3 – $h=20$ мм

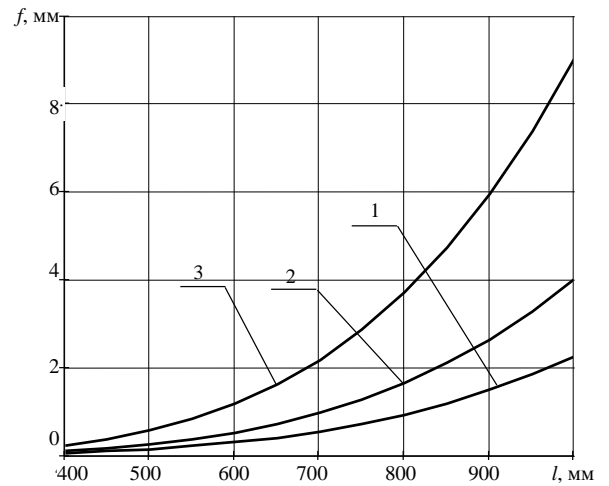


Рис. 3. Графік залежності прогину стрічки від відстані між опорними роликками:
1 – $L=700$ мм; 2 – $L=800$ мм; 3 – $L=900$ мм

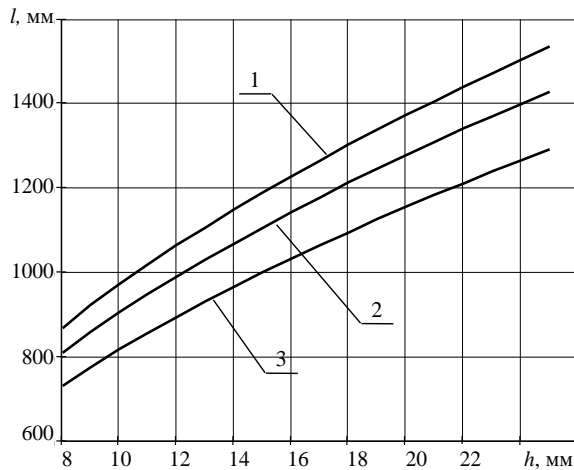


Рис. 4. Графік залежності відстані між опорними роликками від товщини стрічки:
1 – $f=4$ мм; 2 – $f=6$ мм; 3 – $f=8$ мм

Як видно з рисунків, із збільшенням товщини гладкої конвеєрної стрічки величина прогину зменшується, а величина відстані між валами збільшується. Ці моменти необхідно враховувати при конструюванні установок для розрізання гладкої конвеєрної стрічки різної товщини, а віддалей між опорними роликками повинна регулюватися відповідними механізмами.

Крім цього, переміщення КС при її подачі в зону різання можна здійснювати по роликкових направляючих з їх обертанням. При цьому зусилля подачі КС буде значно меншим, через значно меншу силу тертя в зоні різання.

У зв'язку з цим розроблення технологічного процесу розрізання конвеєрної стрічки на смуги з рулонів і конструкції устаткування з блоками різальних інструментів є актуальною задачею для машинобудівних підприємств України.

У машинобудуванні широко використовуються конвеєрні стрічки з тканинним чи металічним кордом, пластмасові, шкіряні тощо. Цій проблемі присвячені роботи багатьох авторів, але питання проектування технологічних процесів, устаткування і різальних систем багаторядного розрізання на даний час в повній мірі не вирішено.

Висновки

1. Розроблено конструкцію лінії розрізання конвеєрної стрічки на смуги для виготовлення плоских приводних пасів сільськогосподарських машин, при цьому переміщення здійснюється по направляючим роликками, яких сила тертя є значно зменшено ніж плоскій поверхні.

2. Виведено аналітичні залежності для визначення технологічного зусилля різання і конструктивних параметрів приводних плоских пасів, потужність різання та інше.

Література

1. Лепетов В.А. Резиновые технологические изделия. 3-е, изд. Л., Химия, 1976, 440с.
2. Рублюк О.В. Розробка технології одержання виробів з вторинної полімерної сировини. Дисертаційна кандидата технічних наук 05.02.08. Львів, 1994, 19с.
3. Логуш І.В. Технологічне забезпечення виготовлення стрічок з зубчастих гумово-кордових рулонних заготовок. автореф. канд. техн. наук 0502.08, Тернопіль, 2006, 20с.
4. Патент №33066, Україна. Установка для розрізання гладкої конвеєрної стрічки на смуги. Ляшук О.Л., Фльонц О.В. та інші. №u20080366, Заявл.04.02.2008; Опубл.10.06 2008, Бюл.№11, 2008.–6с.

Flonts O.

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Berezhaný Agrotechnical institute

THEORETICAL JUSTIFICATION OF FEEDING THE CONVEYOR BELT TO THE CUTTING ZONE WITH DISC KNIVES

Recently, in the drives of agricultural machines (sgm), belt and bar conveyors, conveyor belts with appropriate slotted protrusions are widely used instead of chain gears, for coupling with the corresponding trapezoidal protrusions of drive elements, which have a number of advantages over chain ones.

The German industry produces such rubber-cotton conveyor belts in rolls with a width of 0.9...2 m, a length of 50 m. And exports them to various countries of the world, including Ukraine.

The creation of new types of machines and mechanisms of transport and technological systems contributes to the further development of the national economy and the expansion of their nomenclature, increasing labor productivity due to the achievement of scientific and technical progress.

ДО УВАГИ КОРЕСПОНДЕНТІВ!

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ ДО ЗБІРНИКА «ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ»

1. Наукова стаття повинна мати наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше питань загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); структурований виклад матеріалів дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; чіткі висновки, які відповідають цілям і стану даного дослідження і перспективи подальшої роботи у даному напрямку.

2. Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Стаття повинна бути набрана у текстовому редакторі не нижче MS WORD 6.0/7.0 і надрукована тільки на лазерному або струменевому принтері на білих листках формату А4 (290x210 мм). Нумерацію сторінок не виконувати.

3. Параметри сторінки: ліве – 3 см, верхнє, нижнє, праве поле – 2 см. Від краю до колонтигула верхнього – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.

4. Шапка статті: індекс УДК, прізвища та ініціали авторів, назва організації – набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується на 1 см нижче назви організації, набирається прописними літерами шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з напівжирним виділенням і вирівнюється по центру. Анотація має бути розширеною (об'ємом 1000-1200 знаків), повинні містити короткий виклад статті і розміщуються на 1см нижче назви статті, набираються з абзацного відступу 1см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій вказуються ключові слова. Прізвища та ініціали авторів, назва організації, назва статті, анотація, ключові слова подаються українською, російською та англійською мовами, при чому, анотація мовою статті подається на початку, а прізвище, назва організації, назва статті, анотація, ключові слова іншими двома мовами після інформаційних джерел.

5. Основний текст розміщується на 1 см нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюється по ширині.

6. Для набирання формул застосовувати редактор формул MS WORD (використовувати шрифт для формул Symbol; для тексту – Time New Roman Cyr; розмірами: звичайний 12 пт., крупний індекс 7 пт., дрібний індекс 5 пт., крупний символ 18 пт., дрібний символ 12 пт.). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.

7. Наявні ілюстрації розташовувати по тексту, вирівнюючи підписи (Рис. 1. Схема ...) по центру. Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі в форматі jpg. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.

8. Таблиці розташовувати по тексту, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею поставити її порядковий номер (Таблиця 1) – вирівнюючи по правому краю, під яким розмістити назву таблиці, вирівнюючи по центру.

9. Інформаційні джерела подається загальним списком в кінці рукопису згідно з вимогами державного стандарту через 1 см від останнього рядка.

10. До статті обов'язково додаються відомості про авторів:

- Прізвище, Ім'я, По батькові;
- Місце роботи, посада, науковий ступінь, вчене звання;
- Адреса для отримання збірника, e-mail, телефон.
- Заява на ім'я редакції про те, що стаття не є плагіатом і друкується автором вперше.

Основні наукові спеціальності:

- 131 Прикладна механіка;
- 132 Матеріалознавство;
- 133 Галузеве машинобудування;
- 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології;
- 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка;
- 153 Мікро-та наносистемна техніка;
- 163 Біомедична інженерія;
- 171 Електроніка.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Ці спеціальності тісно пов'язані і доповнюють одна одну у сфері таких напрямків: прилади та системи фізичних та біомедичних технологій; прогресивні технологічні процеси в машино- та приладобудуванні; проблеми технологічного менеджменту та сервісного обслуговування медичної техніки; метрологія, інформаційно-вимірювальні технології, стандартизація та сертифікація; проблеми, теорія та практика підготовки фахівців технічного спрямування в контексті євроінтеграції вищої школи України; фізика напівпровідників та діелектриків та фізика твердого тіла; прилади та методи вимірювання електричних, магнітних та механічних величин.

Редакційна колегія збірника забезпечує рецензування наукових статей, що подаються авторами до опублікування. Дотримані всі вимоги до редакційного оформлення наукового видання згідно державних стандартів України.

Статті приймаються в електронному вигляді – за електронною адресою: confkptm@gmail.com, в письмовому вигляді – за поштовою адресою: **43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, каф. Прикладної механіки та мехатроніки**, відповідальному редактору В.І. Марчуку постійно протягом року.

Редакція здійснює рецензування статей у такій послідовності:

- перевірка статті на відповідність вимогам;
- прийняття рішення щодо прийому статті;
- інформування авторів про можливість *публікації та дозвіл на оплату*.

Статті приймаються українською, польською або англійською мовами. Вартість публікації становить **70 грн.** за 1 стор.

В призначенні платежу слід вказати «**За видання статті у збірнику «Перспективні технології та прилади» від (ШБ)**».

Квитанцію про сплату надіслати у сканованому вигляді за електронною адресою: confkptm@gmail.com.

Сайт видання <http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal>

Видання входить до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (наказ МОН України від 22.12.2016 № 1604 «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 13 грудня 2016 року»)

Видання має міжнародний стандартний серійний номер ISSN 2313-5352.

Збірник наукових праць "Перспективні технології та прилади" індексується в Google Scholar, Crossref, Scientific Indexing Services у Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського, а також представлено у загальнодержавній технологічній платформі "Наукова періодика України".

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів можна отримати у головного редактора – **Марчук Віктора Івановича** за тел. 050-378-82-31, або за електронною адресою: confkptm@gmail.com.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Відповідальний за випуск Марчук В.І.
Друкується в авторській редакції

Здано у виробн. 29.09.2022 р.
Формат 60x84/16. Гарнітура Time New Roman. Папір офсетний.
Ум. друк арк. 12,5. Обл.-вид. арк.12 Тираж 500 пр. Зам. № 59

Віддруковано у інформаційно-видавничому відділі
Луцького національного технічного університету
43018, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Свідоцтво Держкомтелерадіо ДК №4123 від 28.07.2011 р.