

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17

Збірник наукових праць

Випуск 17
(грудень, 2020)

Луцьк 2020

УДК 006, 537, 538, 546, 620, 621, 681

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 6 від 24 грудня 2020 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 грудень 2020р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2020.-191 с.

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 приладобудування.

Телефон: (0332) 26-49-43

Факс: (0332) 74-48-40

e-mail: confkptm@gmail.com

© Луцький національний технічний університет, 2020 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ВИДАННЯ	
Марчук Віктор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.	
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	
1.	Савчук Петро Петрович, доктор технічних наук, професор, професор, Луцький національний технічний університет, Україна.
2.	Ткачук Анатолій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет, Україна.
3.	Ларшин Василь Петрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Україна.
4.	Ляшук Олег Леонтійович, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів, Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя, Україна.
5.	Скоропад Пилип Ізидорович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірвальних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.
6.	Захаров Ігор Петрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри метрології та технічної експертизи, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
7.	Лебедєв Володимир Георгійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри матеріалознавства та технології матеріалів, Одеський національний політехнічний університет, Україна.
8.	Заблоцький Валентин Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електроніки та телекомунікацій, Луцький національний технічний університет, 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.	Андрушак Ігор Євгенович, доктор технічних наук, професор, декан факультету фінансів, обліку, лінгвістики та права, Луцький національний технічний університет, Україна.
15.	Антонюк Віктор Степанович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
16.	Гайдук Мікулас (Hajduk Mikuláš), доктор технічних наук, професор, професор кафедри робототехніки, Технічний університет Кошице, Словаччина.
17.	Гераїмчук Михайло Дем'янович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
18.	Гулай Любомир Дмитрович, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Україна.
19.	Денисюк Віктор Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.
20.	Кайдик Олег Леонтійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.
21.	Коломієць Леонід Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Україна.
22.	Куц Юрій Васильович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірвальних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
23.	Лапченко Юрій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.

24.	Луцький Сергій Валентинович , кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фундаментальних наук, Луцький національний технічний університет, Україна.
25.	Луцький Ігор Володимирович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
26.	Марек Опеляк (Marek Opielak) , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчового машинобудування, Люблінська політехніка, Польща.
27.	Мірослав Пайор (Miroslaw Pajor) , доктор технічних наук, професор, декан факультету механічної інженерії та мехатроніки, Західнопоморський технічний університет, Польща.
28.	Пастернак Ярослав Михайлович , доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної математики та механіки, Луцький національний технічний університет, Україна.
29.	Пермяков Олександр Анатолійович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування та металоріжучі верстати, Національний технічний університет України «Харківський політехнічний інститут», Україна.
30.	Пташенчук Віталій Віталійович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.
31.	Середюк Орест Євгенович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.
32.	Симонюк Володимир Павлович , кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.
33.	Тимчик Григорій Семенович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри приладобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського», Україна.
34.	Ткачук Роман Андрійович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри біотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
35.	Тонконогий Володимир Михайлович , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Україна.
36.	Федосов Сергій Анатолійович , доктор хімічних наук, професор, завідувач експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій, Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Україна.
37.	Четвержук Тарас Іванович , кандидат технічних наук, старший викладач кафедри прикладної механіки, Луцький національний технічний університет, Україна.
38.	Шваб'юк Василь Іванович , доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної математики та механіки, Луцький національний технічний університет, Україна.
39.	Яворський Богдан Іванович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехнічних систем, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.
40.	Ярошевич Микола Павлович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування та лісового господарства, Луцький національний технічний університет, Україна.
41.	Марчук Ірина Вікторівна , кандидат технічних наук, доцент кафедри приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.

ЗМІСТ	
Банга В.І. Експериментальні дослідження сенсора крутного моменту системи приводу «Електродвигун-дисковий дозатор»	6
Батигін Ю.В., Єршоміна О.Ф., Шиндерук С.О., Чаплигін Є. О. Анализ электромагнитных процессов в резонансном усилителе электрической мощности	12
Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А., Марчук І.В. Попереднє визначення конкурентоспроможності приладів перед їх розробкою	21
Hryniuk V.V., Vynnychuk A.G., Klochko N.B. Development of information and measurement system for automatic regulation of greenhouse premises microclimate	27
Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Шибковський І.А. Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів	33
Диня В.І. Проектування приводів механізмів односторонньої дії сільськогосподарських машин	42
Драган А.П. Технологічне спорядження для навивання гвинтових гофрованих заготовок з заданим профілем	46
Дубчак Н.А., Семенів І.І., Носко В.Л. Результати експериментальних досліджень очисної системи вороху коренеплодів	52
Захарчук В.І., Сітовський О.П., Захарчук О.В. Комплекс приладів для реєстрації параметрів транспортного засобу під час руху	59
Карась В.І., Драган А.П., Клендій М.І. До питання стандартизації електромобілів в Україні	66
Коробко А.І., Шатіхіна В.Є. Віртуальний тренажер акредитованої випробувальної лабораторії	72
Лінік А.Ю., Семенів І.І., Кирик О.М. Гичкоочисний пристрій. Конструкція та кінематика руху	79
Marchuk V.I., Marchuk I.V., Dzhuguryan T.G., Grinyuk S.V., Karpyuk V.O. On the influence of operating characteristics of grinded wheels on the quality indicators of grinded parts	86
Мороз С.А., Селепіна Й.Р., Приступа С.О., Король О.О. Особливості забезпечення безпеки даних в GSM каналі мобільного зв'язку	93
Новіков Ф. В., Полянський В. І. Визначення умов підвищення якості механічної обробки за температурним критерієм	99
Рудько І.М., Бакай Б.Я., Баріляк В.В. Визначення у польових умовах радіусів кривих ділянок трас технологічних автомобільних доріг лісопромислового та лісогосподарського призначення	107
Sereda B.P., Kruglyak I.V. Surface hardening of construction materials with the use of composite saturating charges	114
Sereda D.B. Operational properties of construction materials with protective coatings btained under non-stationary temperature conditions	121

Тулашвілі Ю.Й., Лук'яничук Ю.А., Марчук І.В., Марчук Ів.В., Марчук В.І. Забезпечення технологічної якості виготовлення деталей після підготовки фахівців на симуляторах-тренажерах	127
Федорчук-Мороз В.І., Вісин О.О., Ліщук М.Є. Правила безпечного електромонтажу	135
Фльонц О.В., Кирик О.М. Контрольний пристрій для заміру параметрів шліцевих валів сільськогосподарських машин	142
Kholodnyak Yu., Ph.D., Kostikov A., Ph.D., Podlesny S., Ph.D., Kaporovich S., Ph.D. The software enhancement for simplified strength computation of i-beam	146
Чернета О.Г., Сасов О.О., Шматко Д.З., Аверьянов В.С. Поверхневий шар деталі із Сталі 45 після зміцнення боруванням і лазерної обробки	155
Chuiko M.M., Zaval'skii V.I. The contact angle control of the solder for improving the soldering quality	161
Шматко Д.З., Авер'янов В.С., Сасов О.О., Чернета О.Г Математичне моделювання оцінювання зношування підшипників кочення	167
Никируй Л.І., Замуруєва О.В., Новосад О.В., Федосов С.А. Перспективні матеріали і технології сонячних елементів	175
Новосад О. В., Божко В. В., Федосов С. А., Шигорін П. П. Термоелектричні властивості КРИСТАЛІВ AgSbSe₂-PbSe	183

УДК 631.22.

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-1

Банга В.І., к.т.н.

Львівський національний аграрний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА КРУТНОГО МОМЕНТУ СИСТЕМИ ПРИВОДУ «ЕЛЕКТРОДВИГУН-ДИСКОВИЙ ДОЗАТОР»

У статті подано огляд і аналіз пристроїв для вимірювання крутного моменту приводу обертових елементів, конструктивну схему та загальний вигляд сенсора крутного моменту, передбачено наявність засобів для вимірювання, реєстрації та передачі інформації електричними сигналами біжучих значень вихідної напруги тензодатчиків в динамічному режимі, відображення і зберігання інформації та контрольовано-вимірювальні прилади.

Наведено блок схему, загальний вигляд експериментальної установки для дослідження потужності приводу «електродвигун-дисконий дозатор» сенсором крутного моменту, результати експериментальних досліджень з використанням теорії багатофакторного планованого експерименту, подано рівні варіювання факторів, матрицю плану експерименту.

Запропонована конструкція сенсора крутного моменту системи приводу «електродвигун-дисконий дозатор» дозволить спростити зняття інформації з сенсора при його обертанні, підвищити точність вимірювання та передачі вимірювального сигналу до комп'ютера, спростити його виготовлення.

У результаті проведення планованого багатофакторного експерименту одержано рівняння регресії для визначення вихідної напруги сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту елементів, що обертаються при різних конструктивних розмірах тензовимірювальної площини.

Ключові слова: *сенсор крутного моменту, дисконий дозатор, експериментальна установка, планований експеримент, вихідна напруга, тензодатчик.*

Постановка проблеми. Задача вимірювання зусиль, які передаються обертаючим валом, була поставлена більше двох століть тому і не втратила своєї актуальності і в даний час. Це пояснюється широким розвитком та різноманітністю типів двигунів і силових установок, специфічні умови роботи яких вимагають застосування різноманітних вимірювальних засобів [1].

Основною вимогою, що ставляться до сенсорів крутного моменту системи приводу «електродвигун-дисконий дозатор» є підвищення точності вимірювання. Це вимагає наявності технологічного обладнання, яке б забезпечило належну точність вимірювання та швидкодію знімання інформації в динамічному режимі. Тому розробка та дослідження вимірювача сенсора крутного моменту є актуальним і перспективним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений нами аналіз літературних джерел [1-4] дозволяє зробити висновок, що відомі сенсори крутних моментів мають низку недоліків, а саме низку точність вимірювання, складність виготовлення при запіканні датчиків та конструкції.

Низька точність вимірювання пояснюється тим, що відбувається зменшення чутливості системи вал-сенсор, та наявністю нелінійної характеристики крутного моменту при розміщенні сенсорів на валу.

Складність виготовлення сенсора крутного моменту при наклеюванні і запіканні сенсорів пояснюється тим, що вал необхідно вставляти в термічну камеру. Тому розробка пристроїв для вимірювання крутного моменту є актуальною.

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка сенсора крутного моменту та дослідження зміни вихідної напруги тензодатчиків від зміни зусилля крутного моменту елементів, що обертаються.

Виклад основного матеріалу. В основу винаходу поставлена задача створення такого сенсора крутного моменту, в якому нове виконання вимірювального елемента дозволить підвищити точність вимірювання, усунути складність виготовлення при наклеюванні і запіканні датчиків. Схема і загальний вигляд експериментальної установки для дослідження потужності приводу «електродвигун-дозатор» сенсором крутного моменту показані на рис. 1.

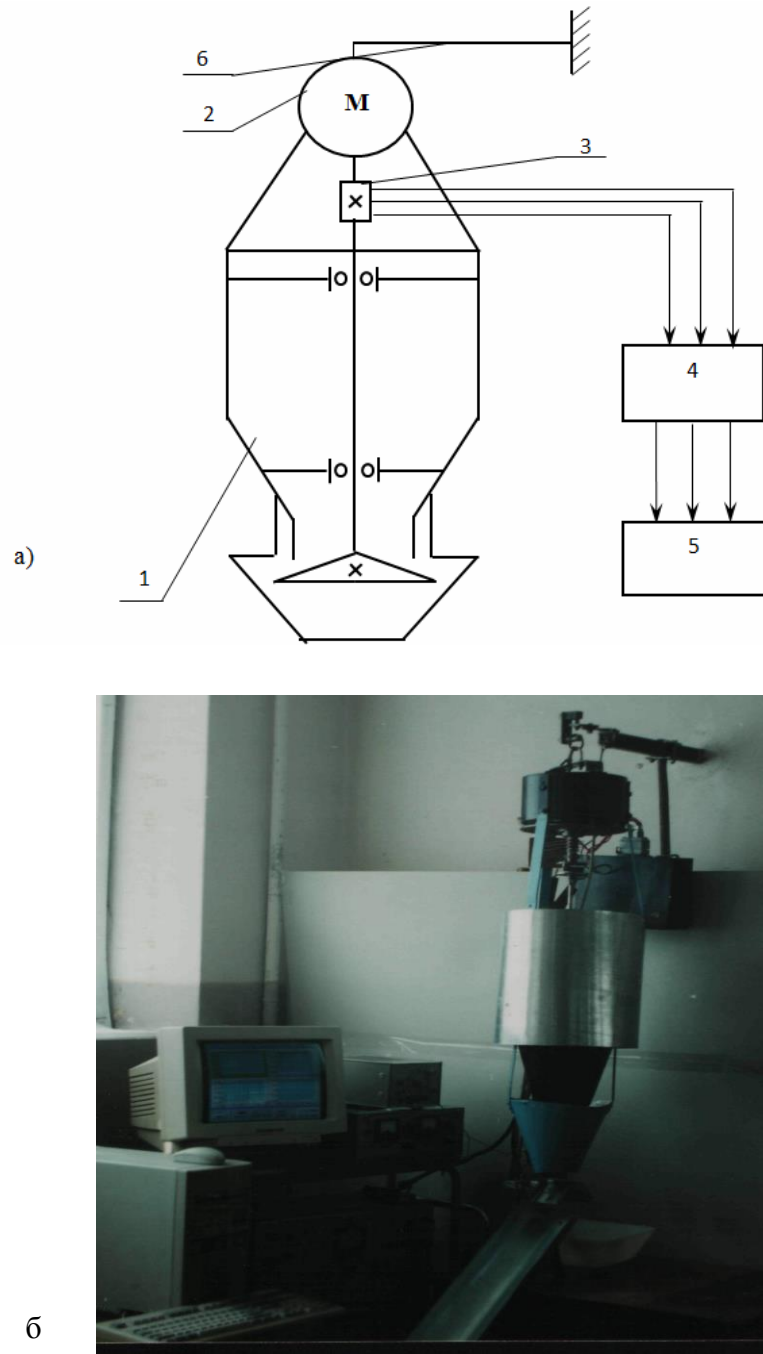


Рис. 1. Блок-схема (а) і загальний вигляд (б) експериментальної установки для дослідження потужності приводу «електродвигун-дисковий дозатор» сенсором крутного моменту:

1 – індивідуальний дисковий дозатор; 2 – електродвигун приводу дискового дозатора; 3 – сенсор крутного моменту; 4 – тензопідсилювач 8АНЧ–7М; 5 – ПЕОМ; 6- кронштейн.

Для вимірювання потужності на привід дискового дозатора у верхній частині індивідуального дозатора 1 в розрив привідних валів на привід робочого органу та електродвигуна встановлено жорстко сенсор крутного моменту 3, який захищений деклараційним патентом України на винахід [5]. Схема і загальний вигляд показані на рис. 2.

Сенсор складається з привідного валу 1, до якого закріплені дві півмуфти 2, з жорстко закріпленими стояками 3, на яких встановлена тензовимірювальна площа 4 з наклеєними на ній тензодатчиками 5 типу 2ПКП–5–100. На привідному валу 1 закріплена втулка 6 з ізолюючого матеріалу, на якій встановлено жорстко кільця 7 зі щітками 8.

Сенсор працює таким чином. Привідний вал 1 приводить у рух півмуфти 2 зі стояками 3, які діють на вимірювальну площину 4, внаслідок чого вона прогинається. Величина прогину, викликана зміною зусилля крутного моменту, фіксується тензодатчиками 5. Сигнал від 3 тензодатчиків 5 через кільця 7 та щітки 8 знімається на тензопідсилювач 9.

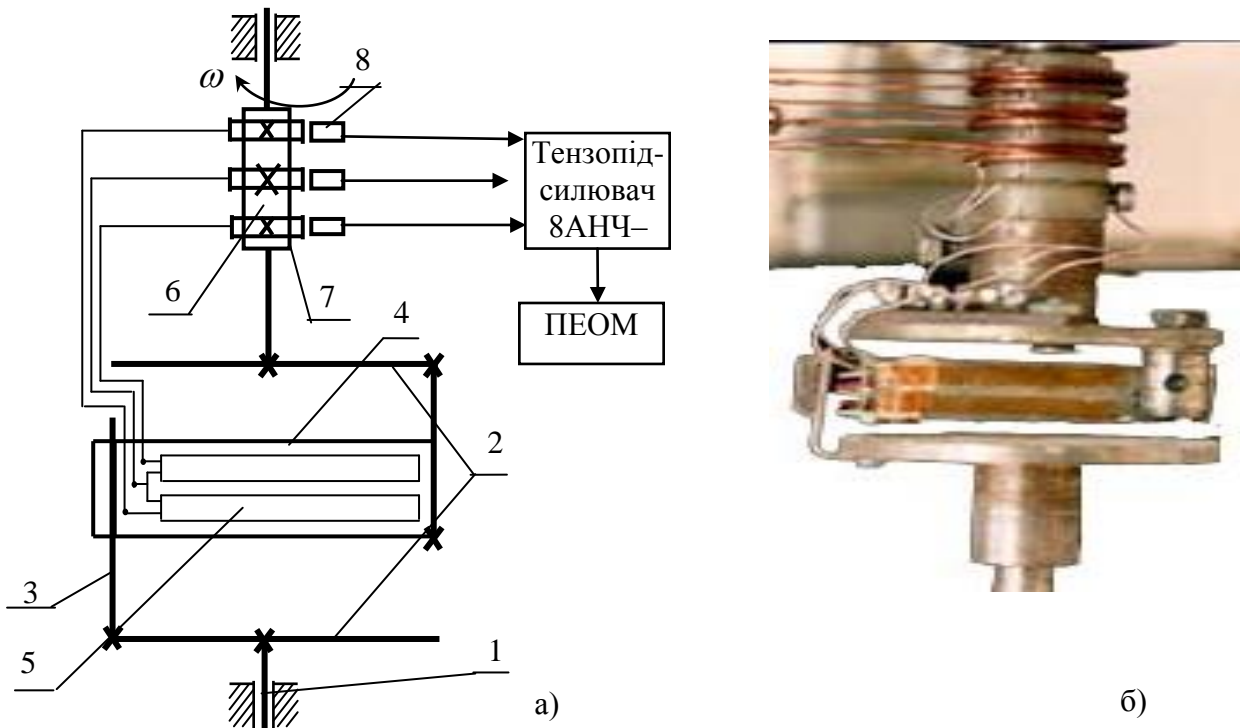


Рис. 2. Конструктивна схема (а) і загальний вигляд (б) сенсора крутного моменту: 1 – привідний вал; 2 – півмуфти; 3 – стояки; 4 – тензовимірювальна площина; 5 – тензодатчики; 6 – втулка; 7 – кільця; 8 – щітки.

Для обґрунтування конструктивно-технологічних розмірів тензовимірювальної площини проводився повний трифакторний планований експеримент на трьох рівнях типу 3^k , (k – число факторів) плану другого порядку Бокса-Бенкіна за відомою методикою [6-8]. Інтервали і рівні варіювання факторів наведені в табл. 1, а матриця плану у табл. 2.

За критерій оптимізації прийнято вихідну напругу тензодатчиків U .

Факторами, які впливають на вихідну напругу тензодатчиків U , були площа поперечного перерізу S , довжина тензовимірювального полотна L , крутний момент на валу M .

Таблиця 1.

Інтервали і рівні варіювання факторів

Рівень варіювання факторів	Кодовані значення	Площа поперечного перерізу S , м ²	Довжина тензовимірювального полотна L , м	Крутний момент на валу M , Н·м
Верхній	+	0,0875	0,165	0,42
Основний	0	0,0625	0,125	0,2915
Нижній	-	0,0375	0,085	0,163
Інтервал варіювання	ε	0,025	0,04	0,1285

Таблиця 2.

№ експерименту	Варіювання факторами			Критерій оптимізації
	x_1	x_2	x_3	
1	1	1	0	3,9
2	-1	-1	0	2,92
3	1	-1	0	3,8
4	-1	1	0	2,97
5	0	1	1	4,67
6	0	-1	-1	2,1
7	0	1	-1	2,1
8	0	-1	1	4,79
9	1	0	1	5,1
10	-1	0	-1	1,63
11	1	0	-1	2,55
12	-1	0	1	4,25
13	0	0	0	3,41
14	1	1	1	5,1
15	-1	-1	-1	1,63
16	-1	1	1	4,28
17	-1	-1	1	4,25
18	-1	1	-1	1,63
19	1	-1	-1	2,58
20	1	-1	1	5,1
21	1	1	-1	2,58
22	0	0	-1	2,15
23	0	0	1	4,67
24	0	1	0	3,41
25	0	-1	0	3,41
26	1	0	0	3,9
27	-1	0	0	2,97

У результаті обробки експериментальних даних одержали математичну модель другого порядку для визначення вихідної напруги тензодатчиків яка наведена у кодованому вигляді:

$$y = 3,40185 + 0,4489x_1 + 0,00333x_2 + 1,292222x_3 - 0,033292x_1^2 - 0,026625x_2^2 - 0,03163x_3^2 + 0,001667x_1x_2 - 0,45x_1x_3 - 0,0075x_2x_3 - 0,00375x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Проводили розкодування кодованих значень коефіцієнтів рівняння регресії відповідно до програми обробки результатів планованих експериментів в оболонці редактора Excel.

З розкодованими значеннями коефіцієнтів рівняння регресії математична модель вихідної напруги тензодатчиків набуде натурального вигляду:

$$U = 3,885238679 + 65,23870982S + 4,564634217L + 20,11022336M - 53,2672 \cdot S^2 - 16,640625 L^2 + 1,915547548M^2 + 1,667S \cdot L - 140,07782 S \cdot M + 1,459143962 \cdot M, \quad (2)$$

За результатами експерименту побудовано графічну залежність (рис. 3) зміни вихідної напруги U сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту M приводу обертових елементів.

З графічної залежності (див. рис. 3) видно, що зміна вихідної напруги U сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту M при різних конструктивних розмірах вимірювальної площини зростає прямолінійно. Максимальна вихідна напруга сенсора U досягається при величині крутного моменту $M = 0,42$ Н·м, ширині тензовимірювальної площини 35 мм, довжині 165 мм та товщині 2,5 мм становить $U = 5,1$ В.

Дані досліджень були перевірені на відтворення. Для цього визначали розрахункове значення критерію Кохрена $G_{роз}$ за методикою [6]. Число степенів вільності чисельника і

знаменника становить: $f_4 = 3-1 = 2$, $f_3 = 27$. Дане значення критерію є менше від табличного $G_{роз} = 0,17$ яке становить $[G_{таб}] = 0,1980$, що підтверджує відтворюваність дослідів.

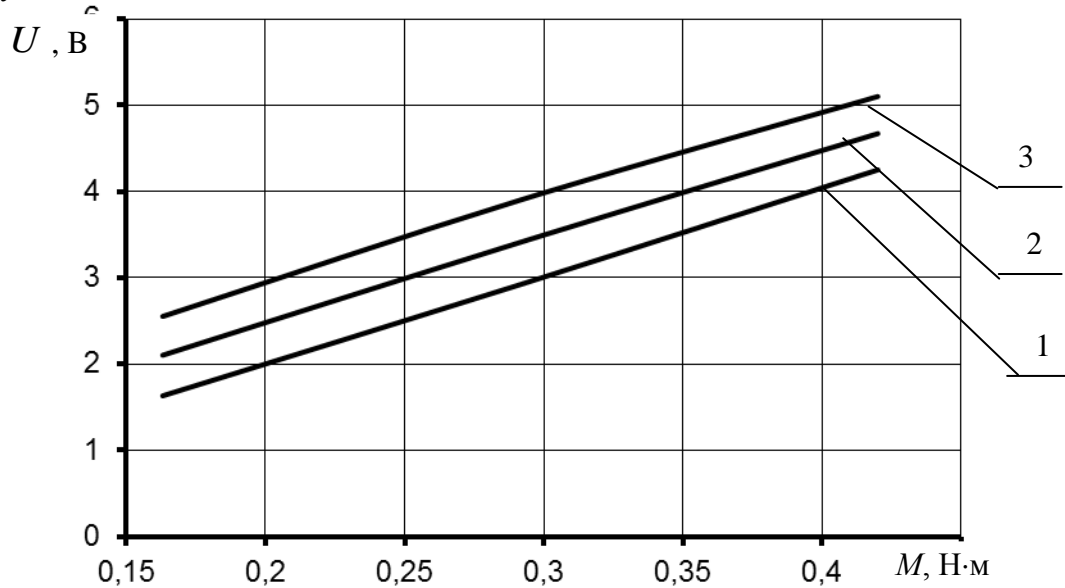


Рис. 3. Графік залежності зміни вихідної напруги U сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту M елементів, що обертаються:

1- при ширині тензовимірювальної площини 25 мм, довжині 85 мм та товщині 1,5 мм; 2- при ширині тензовимірювальної площини 30 мм, довжині 125 мм та товщині 2 мм; 3- при ширині тензовимірювальної площини 35 мм, довжині 165 мм та товщині 2,5 мм.

Перевірку досліджень проводили за критерієм Фішера $F_{роз}$ за ступенем вільності чисельника $f_4 = 7$ знаменника $f_3 = 63$ становить $F_{роз} = 2,0$. Умова адекватності виконується, оскільки $F_{роз} < [F_{таб}] = 2,3$.

Висновки. Для дослідження потужності приводу обертових елементів була розроблена конструкція сенсора крутного моменту для проведення експериментальних досліджень.

У результаті проведення планованого багатофакторного експерименту одержано рівняння регресії для визначення вихідної напруги U сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту M приводу обертових елементів. Аналіз математичної моделі дозволив встановити, що зміна вихідної напруги U сенсора крутного моменту від зміни зусилля крутного моменту M при різних конструктивних розмірах вимірювальної площини зростає прямолінійно. Максимальна вихідна напруга сенсора U досягається при величині крутного моменту $M = 0,42$ Н·м, ширині вимірювальної площини 35 мм, довжині 165 мм та товщині 2,5 мм становить $U = 5,1$ В. Мінімальна вихідна напруга датчика U досягається при величині крутного моменту $M = 0,163$ Н·м, ширині вимірювальної площини 25 мм, довжині 85 мм та товщині 1,5 мм становить $U = 1,63$ В.

Інформаційні джерела:

1. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. Минск: Вышэйш. шк., 1975. 351 с.
2. Полищук Е.С. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин Москва: Энергия, 1980. 360 с.
3. Якимчук Д. М., Кармаліта А. К. Аналіз методів вимірювання крутних моментів в приводах електрогідролічних пресів легкої промисловості. URL: <http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/2878> (дата звернення 19.11.2020).
4. Васілевський О.М. Засіб вимірювання динамічного моменту електромоторів та аналіз його точності. Вимірювальна техніка та метрологія. № 73. 2012. - С. 52 – 56.
5. Вимірювач крутного моменту: патент 70691. Україна, МКИ G01L5/00, G01L5/24. 2. № 200312121556; заявл. 23.12.2003; опубл. 15. 10.2004, Бюл. №10. 4 с.
6. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 163 с.

7. Львович Я. Е., Фролов В. Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. Москва: Радио и связь, 1986. 192 с.

8. Бондар А.Г. , Статюха Г.А., Потяженко И. А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. Київ. Вища школа, 1980. 261 с.

Банга В.И., к.т.н.

Львовский национальный аграрный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРА КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА СИСТЕМЫ ПРИВОДА «ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ-ДИСКОВЫЙ ДОЗАТОР»

В статье представлен обзор и анализ устройств для измерения крутящего момента привода вращающихся элементов, конструктивную схему и общий вид сенсора крутящего момента, предусмотрено наличие средств для измерения, регистрации и передачи информации электрическими сигналами бегущих значений выходного напряжения тензодатчиков в динамическом режиме, отображение и хранение информации и контрольно-измерительные приборы.

Приведена блок схема, общий вид экспериментальной установки для исследования мощности привода «электродвигатель-дисковый дозатор» сенсором крутящего момента, результаты экспериментальных исследований с использованием теории многофакторного планируемого эксперимента, представлены уровни варьирования факторов, матрицу плана эксперимента.

Предложенная конструкция сенсора крутящего момента системы привода «электродвигатель-дисковый дозатор» позволит упростить снятие информации с сенсора при его вращении, повысить точность измерения и передачи измерительного сигнала к компьютеру, упростить его изготовление.

В результате проведения планируемого многофакторного эксперимента получены уравнения регрессии для определения выходного напряжения сенсора крутящего момента от изменения усилия крутящего момента вращающихся элементов при различных конструктивных размерах тензоизмерительной плоскости.

Ключевые слова: *сенсор крутящего момента, дисковый дозатор, экспериментальная установка, планируемый эксперимент, выходное напряжение, тензодатчик.*

Banha V.I., Ph.D.

Lviv National Agrarian University

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE TORQUE SENSOR OF THE DRIVE SYSTEM «ELECTRIC MOTOR-DISC DISPENSER»

The article presents an overview and analysis of devices for measuring the torque of the drive of the rotating elements, the structural diagram and a General view of the torque sensor, provides for the availability of means for measuring, recording and transmitting information by electrical signals of the current values of the output voltage of strain gauges in dynamic mode, display and storage of information and control and measuring devices.

The block diagram, general view of the experimental setup for studying the power of the drive "motor-disk dispenser" torque sensor, the results of experimental studies using the theory of multifactor planned experiment, the levels of variation of factors, the matrix of the experimental plan.

The proposed design of the torque sensor of the drive system "motor-disk dispenser" will simplify the removal of information from the sensor during its rotation, increase the accuracy of measurement and transmission of the measuring signal to the computer, simplify its manufacture.

As a result of the planned multifactor experiment, a regression equation was obtained to determine the output voltage of the torque sensor from the change in the torque force of the rotating elements at different structural dimensions of the strain gauge plane.

Keywords: *torque sensor, disk dispenser, experimental setup, planned experiment, output voltage, strain gauge.*

УДК 621.314

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-2

Батыгин Ю.В., д.т.н., Еремина Е.Ф., к.т.н., Шиндерук С.А, к.т.н., Чаплыгин Е.А., к.т.н.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕЗОНАНСНОМ УСИЛИТЕЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

Целью настоящей работы было предложение и теоретическое обоснование принципиальной работоспособности схемы трансформатора реактивной электрической мощности, состоящей из двух последовательных резонансных контуров с регулируемым уровнем электромагнитной связи между ними. Получены базовые аналитические выражения для характеристики электромагнитных процессов в схеме принятого резонансного преобразователя. Показано, что максимально возможный коэффициент усиления электрической реактивной мощности пропорционален добротности вторичного контура трансформатора. Достоверность полученных результатов подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями. Их результаты продемонстрировали, что расхождения теоретических оценок и опытных данных довольно незначительны, и их можно объяснить влиянием внешних электромагнитных полей (суперпозиция полей «выходного» соленоида и трансформатора связи). В целом, полученные результаты иллюстрируют реальные возможности многократного усиления реактивной электрической мощности в предложенной схеме резонансного трансформатора. Дальнейшие работы предполагают разработку и создание преобразователя реактивной электрической энергии в активную.

Ключевые слова: трансформатор, реактивная мощность, последовательный электрический контур, резонанс напряжений, электромагнитная связь, активная нагрузка

Введение, постановка проблемы. Энергию любой природы, извлекаемую при резонансе из внешней среды, можно назвать «резонансной» энергией. Её существование и, соответственно, обоснованность предложенного термина подтверждаются достаточно многочисленными и убедительными примерами [1]. Не останавливаясь на обсуждении конкретных фактов из цитируемой монографии, можно выделить нечто общее во всех известных проявлениях этой энергии. Так, при резонансе и вне его «физические факторы причинности» наблюдаемых явлений остаются неизменными (амплитуды внешней силы, напряжения, тока и др.). Причём их непосредственные возможности не соответствуют резонансному росту амплитуд динамических характеристик и выполнению работы, требующей дополнительных энергетических затрат. Как представляется из феноменологических соображений, эта дополнительная энергия извлекается из окружающего пространства, она существует и, соответственно, может быть названа «резонансной» энергией. Однако следует подчеркнуть, что термин «резонансная» не исключает возможного и справедливого использования других определений энергии из внешней среды, поскольку в современных научных публикациях отсутствует окончательное научное обоснование происхождения энергии такого рода. Постановка задач настоящего исследования инициирована практическим интересом к резонансным явлениям в электротехнике.

Анализ последних исследований и публикаций. Прежде чем перейти непосредственно к обзору литературы, следует осветить два основных фундаментальных утверждения, на которых строится настоящая работа. Первое утверждение состоит в использовании идеи Тесла о резонансной энергии эфира в окружающем пространстве, которая была воплощена практически в «сверх трансформаторе» напряжения, названном его именем [3]. Второе утверждение состоит в использовании отличительной особенности идеализированной схемы с двумя индуктивно-связанными резонансными контурами. Эта идеализация предполагает нулевое активное сопротивление во вторичном контуре, что позволяет получить усиление напряжения и тока, что в конечном итоге означает усиление именно электрической мощности [4].

Более подробно начнем с идей Н. Тесла. Наиболее эффективное предложение конвертера резонансной энергии с коэффициентом преобразования более чем в ~ 1000 раз было запатентовано ещё в начале прошлого века и названо по имени его изобретателя

«трансформатором Тесла» [5]. Последний состоит из двух индуктивно связанных резонансных контуров. Физически отсутствие замкнутой цепи с нагрузкой означает, что между выходными клеммами катушки могут возбуждаться только токи смещения с довольно малыми амплитудами. Работает трансформатор Тесла исключительно как «сверх» усилитель напряжения (но не электрической мощности). Его исследованиям посвящено достаточно большое количество публикаций. Так, информация о многочисленных изобретениях, связанных с трансформатором Тесла, содержится в монографиях [3, 5]. Здесь приведены оригинальные не отредактированные рисунки, которые касаются переменного тока, его источников, беспроводной передачи электрической энергии, различных конструкций электрических генераторов и многих других очень интересных и практически полезных предложений. Оптимальная конструкция и реальные пути повышения эффективности трансформатора Тесла подробно описаны в работе [6], где детально обсуждаются возможности достижения оптимума за счёт модификации основных компонентов оборудования. Исследования, направленные на повышение амплитуд высоковольтных сигналов на выходе вторичной обмотки трансформатора, на появление высших типов колебаний в спектре возбуждаемого напряжения и др. описаны авторами работы [7]. Принципиально новые физические подходы к решению проблем энергетики без известных её источников обсуждаются авторами работы [8]. Здесь освещены запатентованные в разных странах мира предложения нетрадиционных способов получения, так называемой, «естественно возобновляемой» энергии. В отличие от известных подходов к решению проблем энергетики, предметом дискуссий являются так называемая «радиантная энергия» трансформатора Тесла, «свободная энергия» внешней среды, «холодное электричество», «энергетика без топлива», «энергия эфира» и т.д. Многие предложения авторов цитируемых публикаций были уже апробированы, многие, возможно, будут реализованы в будущем. Интересно отметить, что электродвигатель американского инженера Э. Грея потреблял не более ~ 5% энергии источника.

Прежде чем перейти ко второму фундаментальному утверждению об использовании отличительной черты идеализированной схемы с двумя индуктивно-связанными резонансными контурами, следует упомянуть опубликованные работы аналогичной направленности [9, 10]. Так, патент [9] защищает изобретения резонансного трансформатора и резонансного усилителя. Но как показал строгий анализ запатентованных устройств, их практическая реализация очень сложна и даже сомнительна.

Первая попытка предложения и теоретического анализа возможности создания резонансного трансформатора реактивной электрической мощности представлена в работе [10]. Сущность предложения в цитируемой публикации состоит в следующем. Если трансформатор Тесла дополнить последовательным включением сосредоточенной ёмкости в цепь вторичной обмотки, то полученная схема из двух индуктивно связанных активно-реактивных контуров в режиме «резонанса напряжений» при определённых условиях будет представлять собой уже трансформатор с возможностями усиления не только напряжения, но и тока. Принципиальное доказательство этого утверждения дано в работе [4]. Авторами цитируемого источника показано, что в идеализации, когда активное сопротивление вторичного контура равно нулю, в нём протекает ток конечной величины ($I_2 \neq 0$). А в первичном контуре ток будет отсутствовать ($I_1 = 0$). Данную ситуацию авторы интерпретируют следующим образом: при выполнении резонансных условий возбуждаемые токи «устанавливаются такими, чтобы э.д.с. взаимной индукции со стороны второго контура на первый контур уравновесила приложенное напряжение. Физически, по своему характеру, этот случай аналогичен резонансу токов в контуре без потерь. Таким образом, при нулевом токе в первичном контуре и ненулевом во вторичной цепи появляется возможность получения достаточно больших коэффициентов преобразования, но уже для тока, а не только для напряжения.

Заканчивая настоящий обзор, следует отметить, что активно-реактивные электрические контуры широко распространены. Они являются неизменными компонентами современных высоковольтных устройств в оборудовании для современных промышленных технологий (например, магнитно-импульсная обработка металлов [11,12]), а также в экспериментальных комплексах для исследования процессов взаимодействия полей и тонкостенных проводников (например, особенности поведения листовых ферромагнетиков в проникающих электромагнитных полях [13]).

Нерешённая ранее часть общей проблемы. Существенный недостаток рассмотренной схемы двухконтурного резонансного трансформатора (предложенной авторами [4]) состоит в

том, что она не может быть реализована на практике. В действительности активное сопротивление вторичной цепи не может быть равным нулю. Тем не менее, рассмотренная идеализация может быть положена в основу уже практической реализации резонансного трансформатора реактивной электрической мощности. Он должен состоять из двух последовательных индуктивно связанных резонансных контуров, но с активным сопротивлением конечного значения. Уровень электромагнитной связи между ними должен регулироваться так, чтобы избежать передачи резонансной энергии из вторичной цепи в первичную. Согласно рекомендациям, Н. Тесла, эта связь должна быть достаточно слабой. Это означает, что возбуждение вторичной цепи должно осуществляться небольшими «порциями» энергии и предотвращать ее возврат в первичный контур. «Вывод» генерируемой энергии может быть реализован из индуктивности вторичной цепи или из её емкости.

Формулировка цели статьи. Целью настоящей работы является теоретическое обоснование принципиальной работоспособности предложенной ранее [14] схемы трансформатора реактивной электрической мощности, состоящей из двух последовательных активно-реактивных резонансных контуров с регулируемым уровнем электромагнитной связи между ними. Научная новизна определяется сформулированной целью, достижение которой основано на выводах обобщённого теоретического анализа и экспериментах, выполненных для действующей модели предлагаемого трансформатора реактивной электрической мощности.

Методика проведения исследований. Проведенные исследования включают две составляющие. Первая – это вывод аналитических зависимостей для описания протекающих электромагнитных процессов и численные оценки их характеристик для создания действующей модели трансформатора реактивной электрической мощности. Вторая составляющая предполагает экспериментальные исследования разработанной модели трансформатора, что необходимо для проверки достоверности теоретических результатов и формулировки рекомендаций при проектировании реальных резонансных преобразователей реактивной электрической мощности.

Особо следует отметить, что аналогично работам [4, 13] все нижеприведенные расчетные соотношения базируются на физически «прозрачных» положениях и строгом математическом подходе с использованием аппарата теории цепей. И поскольку практический интерес представляет работа исследуемого объекта в стационарном режиме с гармоническими токами и напряжениями, в работе применялся исключительно метод комплексных амплитуд без каких-либо физических гипотез о строении окружающего мира и физических причинах резонансных явлений [4, 13].

Получение научных результатов.

Постановка задач расчёта и принимаемые допущения:

- На рис. 1 представлена схема замещения усилителя из двух последовательных резонансных контуров с трансформатором связи между ними. Индуктивности первичной и вторичной обмоток – $L_{1T,2T}$, соответственно.

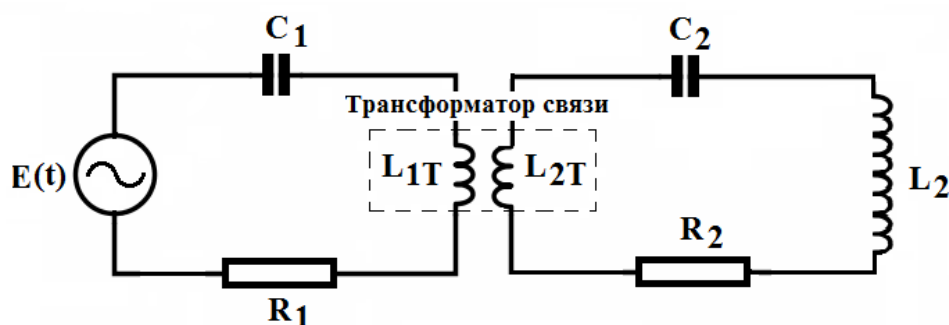


Рис. 1. Принципиальная схема трансформатора реактивной электрической мощности

- Первый «входной» контур: $E(t) = E_m \cdot \sin(\omega t)$ – источник гармонического напряжения (E_m – амплитуда, ω – частота, t – время) L_{1T} – индуктивность первичной обмотки трансформатора связи между контурами. C_1 – емкость, активное сопротивление – R_1 .
- Второй «выходной» контур: L_{2T} – индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи между контурами, L_2 – «выходная» индуктивность, C_2 – емкость, R_2 – активное сопротивление.

Поскольку напряжения на реактивных элементах одинаковы, емкость – C_2 , также может быть «выходным» элементом.

- Частоты первичного и вторичного контуров равны друг другу, так что $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ – резонансная частота системы.

Вывод расчетных соотношений.

Система уравнений, описывающая процессы в контурах схемы замещения предложенного трансформатора, имеет вид [4, 13]:

$$\begin{cases} E = I_1 \cdot \left(i \left(\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 \right) + i \omega M_{12} \cdot I_2; \\ -i \omega M_{12} \cdot I_1 = \left[i \left(\omega \cdot (L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2} \right) + R_2 \right] \cdot I_2; \end{cases} \quad (1)$$

где $I_{1,2}$ – токи в контурах, $I_2 = -i \cdot \frac{E}{(\omega M_{12})}$ – взаимная индуктивность обмоток трансформатора связи между контурами, $k \in [0,1]$ – коэффициент электромагнитной связи.

При выполнении резонансных условий $\left\{ \left[\omega \cdot (L_{2T} + L_2) - \frac{1}{\omega C_2} \right] = 0, \left[\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right] = 0 \right\}$ система уравнений (1) принимает вид:

$$\begin{cases} E = I_1 \cdot R_1 + i \omega M_{12} \cdot I_2; \\ -i \omega M_{12} \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2. \end{cases} \quad (3)$$

Выражение для возбуждаемых токов получим из (2).

$$\begin{cases} I_1 = E \cdot \frac{R_2}{\left((\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2 \right)}; \\ I_2 = -i \cdot \frac{E}{Z}, \end{cases} \quad (3)$$

где $Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}$.

Следует отметить, что Z имеет смысл модуля эквивалентного индуктивного сопротивления, которое связывает напряжение источника питания с резонансным током во вторичном контуре. Как следует из выражения для I_2 из (4) между ними имеет место строгая индуктивная связь.

Переход к пределу $R_2 \rightarrow 0$ показывает, что $I_1 = 0$ и $I_2 = -i \cdot \frac{E}{(\omega M_{12})}$. Это полностью согласуется с результатом идеализации в работе [4].

Для проверки достоверности полученных зависимостей можно найти соотношение напряжения на индуктивности «выходного» контура и напряжения на индуктивности первичного контура. Это необходимо для сравнения с аналогичным соотношением в трансформаторе Тесла [5].

Согласно определению и формулам (3), мы можем найти, что

$$k = \frac{\overset{def}{U_{L2}} = (\omega L_2 \cdot I_2)}{U_{L1T} = (\omega L_{1T} \cdot I_1)} = k_{mp} \cdot Q_2, \quad (4)$$

где $U_{L1T,2}$ – напряжения на индуктивности $L_{1T,2}$, соответственно, $k_{mp} = k_{12} \cdot \sqrt{\frac{L_{2T}}{L_{1T}}}$ –

коэффициент преобразования электромагнитной индукции, $Q_2 = \frac{\omega L_2}{R_2}$ – добротность вторичного контура (без индуктивности первичной обмотки трансформатора связи), определяющая количественный вклад резонансных явлений в процессе преобразования напряжения.

Следует отметить, что результат (4) полностью согласуется с качественной оценкой аналогичного параметра для трансформатора Тесла (прототип настоящего авторского предложения) в статьях [5]. Данный параметр был определен изобретателем в результате

обобщения многочисленных экспериментальных данных. Он утверждал, что эффективность его трансформатора определяется отношением индуктивного сопротивления вторичного контура к его активному сопротивлению.

Прежде чем перейти к количественной интерпретации полученных характеристик, вернемся ко второму соотношению из (3) для тока во вторичном контуре – I_2 .

Очевидно, что функциональная зависимость $Z = Z(\omega M_{12})$ должна иметь минимум, который будет определять максимум тока I_2 относительно аргумента (ωM_{12}) .

Известное необходимое условие существования экстремума для $Z = Z(\omega M_{12})$ имеет вид [16]:

$$\frac{dZ(\omega M_{12})}{d(\omega M_{12})} = \frac{(\omega M_{12})^2 - R_1 \cdot R_2}{(\omega M_{12})^2} = 0. \quad (5)$$

Как следует из выражения (5), модуль эквивалентного сопротивления $Z = Z(\omega M_{12})$, как функция аргумента (ωM_{12}) , достигает минимума, если $(\omega M_{12})_{min} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$ и минимум сопротивления будет равен $Z_{min} = 2\sqrt{R_1 \cdot R_2}$.

Для схемы предложенного резонансного трансформатора условие реализации минимального сопротивления Z_{min} имеет вид:

$$\omega \cdot k_{12} \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}} = \sqrt{R_1 \cdot R_2} \quad (6)$$

Значение коэффициента электромагнитной связи, обеспечивающего максимальный ток вторичной обмотки, можно получить из выражения (6).

$$k_{12-max} = \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{(\omega \cdot L_{1T}) \cdot (\omega \cdot L_{2T})}}. \quad (7)$$

Физически, минимум эквивалентного сопротивления и соответствующий максимум эффективности резонансного усилителя можно объяснить минимально возможной перекачкой энергии из вторичного контура в первичный. Причём данное положение вещей достигается соответствующим уровнем электромагнитной связи между контурами согласно формуле (7).

Следует особо отметить, что полученное выражение для коэффициента уровня электромагнитной связи позволяет выполнить предварительные оценки, необходимые для практической реализации рекомендаций Н. Тесла, согласно которым резонансное возбуждение «выходного» контура должно происходить путем достаточно небольших электрических воздействий со стороны «входного» контура с рабочей частотой, равной собственным частотам контуров усилителя.

С учетом полученных соотношений все необходимые зависимости в режиме максимума тока и максимума мощности в «выходном» элементе предложенного резонансного трансформатора реактивной электрической можно объединить следующим образом.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{1m} = \frac{E}{2R_1}; \\ U_{L_{1T}m} = E \cdot \frac{Q_1}{2}; \\ P_{1m} = \frac{E^2}{2R_1}; \\ I_{2m} = \frac{E}{2 \cdot \sqrt{R_2 \cdot R_1}}; \\ U_{L_{2m}} = E \cdot \frac{(\omega \cdot L_2)}{2 \cdot \sqrt{R_2 \cdot R_1}}; \\ P_{2m} = \frac{E}{R_1} \cdot \frac{Q_2}{4}; \end{array} \right. \quad (8)$$

где $Q_1 = \frac{(\omega \cdot L_{1T})}{R_1}$ – добротность первичного контура.

Теперь, модуль отношения токов в контурах:

$$\left| \frac{I_2}{I_1} \right| = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \quad (9)$$

Из (9) следует, что отношение токов обратно пропорционально корню квадратному из отношения активных сопротивлений в контурах, т.е. соотношение между возбуждаемыми токами определяется уровнем рассеяния энергии.

Отношение выходной и входной мощности определяет максимальный коэффициент преобразования мощности в предлагаемом резонансном усилителе:

$$K_{max} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{Q_2}{2} \quad (10)$$

Отметим, что, как следует из (10), максимальный коэффициент усиления достигается за счет резонансного возбуждения предложенного трансформатора. Некоторые результаты анализа зависимостей (8-10), описывающих электромагнитные процессы в режиме максимума возможной эффективности преобразования электрической энергии, представлены в нижеследующих обобщающих положениях.

- Полученные результаты представляют собой количественные показатели действенности резонансного трансформатора реактивной электрической мощности из двух индуктивно связанных последовательных RLC – контуров.
- В отличие от трансформатора Тесла в принятой схеме преобразователя имеет место трансформация уже не только напряжения, а мощности гармонических токов и напряжений.
- Связь между резонансным током и напряжением трансформатора реактивной электрической мощности имеет индуктивный характер и эквивалентное сопротивление связи можно интерпретировать как эквивалентную индуктивность всей системы в целом.
- Соотношение между токами, возбуждаемыми в отдельных контурах схемы предложенного трансформатора, определяется уровнем рассеяния электромагнитной энергии.
- При соответствующем выборе параметров принятая схема резонансного преобразователя может рассматриваться как усилитель электрической мощности с максимально возможным коэффициентом усиления – $K_{max} = 0.5 \cdot \left(\frac{\omega \cdot L_2}{R_2} \right)$, ω , L_2 , R_2 – резонансная частота, выходная индуктивность, активное сопротивление вторичного контура.
- Физически, максимум усиления мощности резонансным преобразователем обусловлен минимально возможной перекачкой энергии из вторичного выходного контура в первичный контур с источником входного гармонического напряжения.

Численные оценки и экспериментальные результаты. Изложение последующего материала будет построено на сопоставлении численных оценок и полученных экспериментальных результатов.

Начнём с описания элементной базы экспериментальной модели, принципиальная эквивалентная схема которой приведена на рис. 1.

- Первый «входной» контур: $E(t) = E \cdot \sin(\omega t)$ – источник гармонического напряжения с амплитудой – $E = 1$ В и рабочей частотой – $\omega = 2\pi \cdot 25$ кГц, $R_1 = 0.1$ Ом – активное сопротивление, $C_1 = 2.763$ мкФ – ёмкость, $L_{1T} = 14.8$ мкГн – индуктивность первичной обмотки трансформатора связи между контурами.
- Блок трансформатора связи.
- Второй «выходной» контур: $L_{2T} = 14.8$ мкГн – индуктивность вторичной обмотки трансформатора связи между контурами, $C_2 = 0.22$ мкФ – ёмкость, $L_2 = 169.2$ мкГн – «выходная» индуктивность, $R_2 = 0.35$ Ом – активное сопротивление.

Вычисления и измерения.

Первый контур.

1. Рабочая частота: 25 кГц – расчёт, 24.89 кГц – эксперимент.
2. Коэффициент электромагнитной связи между обмотками: $k_{12-max} \approx 0.08$ – расчёт, $k_{12-max} \approx 0.093$ – эксперимент.
3. Возбуждаемый ток: $I_{1m} = 5.0$ А – расчёт, $I_{1m} = 5.46$ А – эксперимент.

4. Напряжение на первичной обмотке трансформатора связи между обмотками – $U_{L1Tm}=11.0$ В – расчёт, $U_{L1Tm}=11.58$ В – эксперимент.
5. Мощность от источника – $P_{1m}=5.0$ Вт – расчёт, $P_{1m}=5.46$ Вт – эксперимент.

Второй контур.

6. Рабочая частота: 25 кГц – расчёт, 24.93 кГц – эксперимент.
7. Возбуждаемый ток: $I_{2m}=2.7$ А – расчёт, $I_{2m}=3.39$ А – эксперимент.
8. Напряжение на первичной обмотке трансформатора связи между обмотками: $U_{L2Tm}=6.19$ В – расчёт, $U_{L2Tm}=5.8$ В – эксперимент.
9. «Выходная» мощность на индуктивности – L_2 : $P_{2m}=189.2$ ВА – расчёт, $P_{2m}=191.2$ ВА.

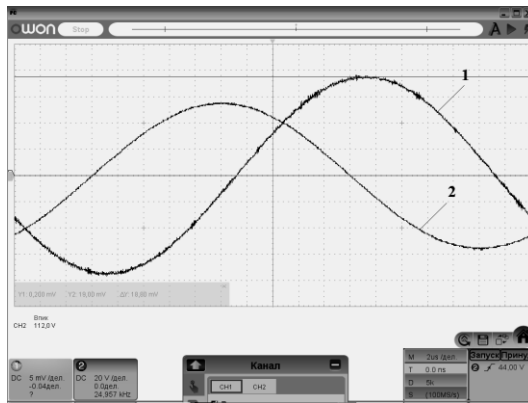


Рис. 3. Осциллограмма: ток в «выходной» индуктивности – 1, напряжение – 2

Интегральные показатели.

1. Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности первого контура $\frac{U_{L2m} \cdot J_{2m}}{U_{L1Tm} \cdot J_{1m}}$ составляет 3,2 по результатам эксперимента и 3,3 из расчета (расхождение ~ 3%).
2. Отношение «выходной» мощности преобразователя к «выходной» мощности источника – коэффициент усиления реактивной электрической мощности $K = \frac{U_{L2m} \cdot J_{2m}}{E \cdot J_{1m}}$ составляет 35 по результатам эксперимента и 37,8 из расчета, (расхождение ~ 9%).

Выводы и перспективы дальнейшего развития в исследованном направлении.

1. Теоретически и экспериментально обоснована принципиальная работоспособность принятой схемы трансформатора реактивной электрической мощности, состоящего из двух последовательных резонансных контуров с регулируемым уровнем электромагнитной связи между ними.

2. Получены базовые аналитические выражения для анализа электромагнитных процессов в схеме принятого резонансного преобразователя.

3. Показано, что максимально возможный коэффициент усиления электрической реактивной мощности равен – $K_{\max} = \frac{Q_2}{2}$, где $Q_2 = \frac{\omega \cdot L_2}{R_2}$ добротность, ω , L_2 , R_2 – резонансная частота, «выходная» индуктивность, активное сопротивление «выходного» контура предлагаемого резонансного трансформатора реактивной электрической мощности.

4. Отклонения результатов измерений в сравнении вычислениями довольно малы и их можно объяснить влиянием внешних электромагнитных полей (суперпозиция полей «выходного» соленоида и трансформатора связи).

5. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования согласуются с рекомендациями Н. Тесла, согласно которым резонансная «накачка» вторичного «выходного» контура должна производиться достаточно малыми электрическими воздействиями со стороны первичного «входного» контура на частоте, равной собственным частотам контуров усилителя.

6. В целом, полученные результаты иллюстрируют реальные возможности многократного усиления реактивной электрической мощности (в $\sim 33\div 35$ раз) в предложенной схеме резонансного трансформатора.

7. Дальнейшие работы, в конечном итоге, предполагают создание действующей модели преобразователя реактивной электрической энергии в активную, который при подключении к выходному элементу трансформатора реактивной мощности позволит создать двухступенчатый резонансный усилитель активной электрической мощности без каких-либо дополнительных источников энергии.

Информационные источники

1. Whittaker, E.T. A History of the Theories of Aether & Electricity: Two Volumes Bound As One Paperback – May 17, 2017. Manufactured in the US by LSC Communications. 2017.
2. Beneson, W., Haris, J.W., Stocer, H. & Lutz H. (2019). Handbook of Physics. Switzerland: Springer Nature AG. 2019
3. Gunderman R.. Tesla, the Man, Inventor and the Father of Electricity. Publisher: Carton Books Ltd. 2016.
4. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Том 1./ К.С.Демирчян, Н.В.Коровкин, Л.Р.Нейман, Чечурин В.Л. – Санкт-Петербург: Издательство «Питер», 2009. – 463 с.
5. Tesla N. My Inventions, and Other Writing. Dover Drift Edition. Dover Publication Inc. 2016.
6. Voitkans J., Voitkans A. Tesla Coil Theoretical Model and its Experimental Verification, Published Online: 2015-03-5.
7. Craven R.M., Smith I.R., and Novac B.M., Optimizing the secondary coil of a Tesla transformer to improve spectral purity. IEEE Transactions on Plasma Science. 2014. 42(1), pp. 143-148.
8. Batygin Yu.V., Shinderuk S.A., Serikov G.S., Karabuta V.O., Modern Power Engineering in the Light of the New Physical Representations and Technical Realizations. – A brief review.// Міжнародний журнал «Світлотехніка та електроенергетика» СТЄЕ 2019. – №1 (54), – pp. 40-46.
9. Лиховид Ю.М. (2015). Патент України 103215. Київ: Державна служба інтелектуальної власності України.
10. Stepanov A.A, The resonant transformer. Patent RU 2 418 333 C1, 10.05.2011
11. Electromagnetic Forming. © Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU 2016.
12. D. Gayakward, M.K. Dargar, P.K. Sharma and others. A Review on Electromagnetic Forming Processes. Procedia Materials Science (ICMPC 2014) pp. 520-527.
13. Батигін, Ю.В., Гнатов, А.В. Особливості збудження електромагнітних сил при магнітно-імпульсній обробці листових феромагнетиків //Технічна електродинаміка, 2012. – №1. – С. 71-77.
14. Батыгин Ю.В., Шиндерук С.А., Сериков Г.С., Ерѐмина Е.Ф. Резонансный усилитель электрической мощности. Экспериментальные исследования/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2018. – Випуск №13 – С. 18-24.
15. Thomson, J.J., Elements of the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism. Publisher: Wentworth. 2016.
16. Kantorovich L. Mathematics for Natural Scientists. Fundamentals and Basics. Springer Nature Switzerland AG. 2018. – 526 P.

Батигін Ю.В., д.т.н., Єрѐміна О.Ф., к.т.н., Шиндерук С.О., к.т.н., Чаплигін Є. О., к.т.н.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В РЕЗОНАНСНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Метою цієї роботи була пропозиція і теоретичне обґрунтування принципової працездатності схеми трансформатора реактивної електричної потужності, що складається з двох послідовних резонансних контурів з регульованим рівнем електромагнітного зв'язку між ними. Отримано базові аналітичні вирази для характеристики

© Батыгин Ю.В., д.т.н., Ерѐмина Е.Ф., к.т.н., Шиндерук С.А., к.т.н., Чаплыгин Е.А., к.т.н.

електромагнітних процесів в схемі прийнятого резонансного перетворювача. Показано, що максимально можливий коефіцієнт посилення електричної реактивної потужності пропорційний добротності вторинного контуру трансформатора. Достовірність отриманих результатів підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями. Їх результати продемонстрували, що розбіжності теоретичних оцінок і дослідних даних досить незначні, і їх можна пояснити впливом зовнішніх електромагнітних полів (суперпозиція полів «ви-перехідного» соленоїда і трансформатора зв'язку). В цілому, отримані результати ілюструють реальні можливості багаторазового посилення реактивної електричної потужності в запропонованій схемі резонансного трансформатора. Подальші роботи припускають розробку і створення перетворювача реактивної електричної енергії в активну.

Ключові слова: трансформатор, реактивна потужність, послідовний електричний контур, резонанс напруг, електромагнітна зв'язок, активне навантаження

Yu.V. Batygin, Sc.D., E.F. Yeryomina, Ph.D., S.A. Shynderuk, Ph.D., E.A. Chaplygin, Ph.D.
Kharkov national automobile-highway university

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN A RESONANT ELECTRIC POWER AMPLIFIER

The purpose of this work was to propose and theoretically substantiate the fundamental operability of the reactive power transformer circuit, consisting of two series resonant circuits with an adjustable level of electromagnetic coupling between them. Basic analytical expressions for the characteristics of electromagnetic processes in the circuit of the adopted resonant converter are obtained. It is shown that the maximum possible amplification factor of electric reactive power is proportional to the quality factor of the secondary circuit of the transformer. The reliability of the results obtained is confirmed by the conducted experimental studies. Their results showed that the discrepancies between theoretical estimates and experimental data are rather insignificant, and they can be explained by the influence of external electromagnetic fields (superposition of the fields of the "output" solenoid and the coupling transformer). In general, the results obtained illustrate the real possibilities of multiple amplification of reactive electrical power in the proposed resonant transformer circuit. Further work involves the development and creation of a converter of reactive electrical energy into active energy.

Key words: transformer, reactive power, series electric circuit, voltage resonance, electromagnetic coupling, active load

УДК 658.821

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-3

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

ПОПЕРЕДНЄ ВИЗНАЧЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРИЛАДІВ ПЕРЕД ЇХ РОЗРОБКОЮ

Розроблена методика випереджувальної оцінки конкурентоспроможності проектуємих приладів, що забезпечує появу на ринку високоякісної продукції. Більшість робіт при визначенні конкурентоспроможності зосереджено на визначенні виробничих і експлуатаційних витрат вже готових приладів. Однак ці дані повинні бути одержані заздалегідь, ще до їх проектування. Методика випереджувальної оцінки конкурентоспроможності полягає в управлінні основними технологічними і конструкційними чинниками, до яких відноситься вплив окремих властивостей на конкурентоспроможність через коефіцієнти кореляції, більшість з яких визначається з рівнянь регресії. Збільшити конкурентоспроможність можна за рахунок застосування технічних інновацій як конструкцій, так і технологій, інтелектуальних систем підтримки прийняття технологічно-конструкційних рішень, а також віртуалізації, котрі враховують як результати перебігу віртуальних складальних процесів, так і наслідки віртуальної експлуатації приладів. При цьому розраховується інтегральний показник якості та конкурентоспроможності.

Ключові слова: конкурентоспроможність, оцінка, методика, чинники, випередження.

Конкурентоспроможність є інтегральною величиною, що характеризує привабливість приладів для споживача та прибутковість для виробника. Безумовно, в гнучкому модульному виробництві взагалі, складанні приладів зокрема повинна забезпечуватися конкурентоспроможність продукції, інакше кінцевим етапом буде банкрутство та компрометація такого виробництва. Необхідно зауважити, що кожний прилад в потрібній кількості та якості може бути виготовленим з різною ефективністю при різних типах і організаціях виробництва. Але навіть при сприйнятих виробничих витратах при значних експлуатаційних або високій ціні конкурентоспроможність приладів може бути під загрозою. Тому випереджувальна оцінка конкурентоспроможності розроблюваних і впроваджуваних в гнучке модульне складальне виробництво технологічно-конструкційних рішень є надзвичайно важлива, оскільки вже на проектній стадії технічної підготовки виробництва можна вибрати найкращі рішення та усунути неконкурентоспроможні в майбутньому. Статистика відмічає [1], що лише 10% розроблюваних технологій впроваджується у виробництво, решта з різних причин відсіюється. Подібний стан з технологічним обладнанням та оснащенням.

Більшість робіт [1, 2] зосереджується на виробничих і експлуатаційних витратах, тобто встановленні конкурентоспроможності вже готових приладів, хоча більшу цікавість представляє питання чи буде прилад конкурентоспроможний, якщо організувати його виробництво. Формування конкурентоспроможності проходить у виробника на рівні виробничих витрат і досягнутому ефекті, тобто рівні його якості у порівнянні з найкращим базовим варіантом аналогів. Велике значення має правильний вибір такого варіанту за групами показників призначення, надійності, економічного використання ресурсів, обмеження шкідливих впливів і стандартизації, а при необхідності і інших. В загальному їх можна поділити на технічні показники і економічні. Підлягають порівнянню мінімальна, але достатня кількість таких показників в кожному конкретному випадку. При їх аналізі вибираються класифікаційні, оцінювальні та обмежувальні показники, що відрізняються за значенням не більше 10%. Якщо класифікаційні показники, як правило, є показниками призначення, обмежувальні - показники обмеження шкідливих впливів, то оцінювальні - будуть всі інші, що характеризують функціональні, ресурсозберігаючі, ергономічні, естетичні сторони приладу. Невистачаючі значення показників конкурентоспроможності при їх аналізі можуть бути одержаними апроксимацією, хоча це і не є найкращим рішенням. При гнучкому складанні приладів слід орієнтуватися на усереднений варіант приладу за працемісткістю його складання з коригуванням на варіант з найбільшою працемісткістю.

Точка зору, що конкурентоспроможність розглядається у двох аспектах: ефекту витрат у виробника та споживача [3] є неповною, оскільки підставою конкурентоспроможності є власне

конструкційна досконалість приладу (рис. 1). Як би не змінювалися вказані витрати при недосконалій конструкції приладу, досягнути конкурентоспроможності неможливо.

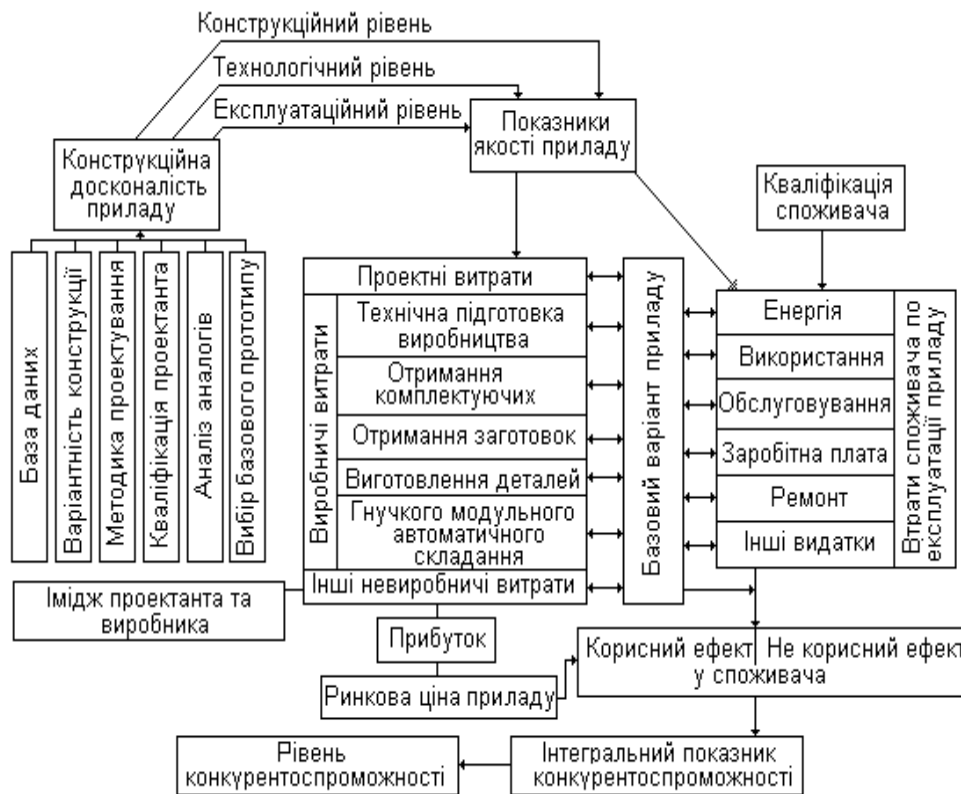


Рис. 1. Схема формування конкурентоспроможності приладу

Забезпечення конструкційної досконалості приладу – одне з найскладніших завдань, яке досягається крім застосування сучасної методики проєктування, бази даних, аналізу аналогів та встановлення прототипу, високою кваліфікацією проєктувальників і декількома варіантами конкурентоспроможних конструкцій. При розробці одного з кращих літаків-розвідників Y-2 замовлення на його конструкцію було розміщено серед трьох фірм. При вартості замовлення одного варіанту 5-6 мільярдів доларів США конкурс виграла фірма Локхід (США) і цей літак після ряду модернізацій експлуатується і донині. Тому варіантування приладів повинно проводитись в залежності від його значення в галузі та очікуваних ефектів в майбутньому.

Конструкційна досконалість приладу може оцінюватись конструкційним, технологічним і експлуатаційним рівнями, котрі визначають його показники якості, що мають бути підвищеними у порівнянні з вибраним прототипом. Підвищення якості приладів забезпечує зростання ефективності гнучкого складання, економію виробничих потреб, краще використання виробничого обладнання та оснащення, матеріалів, енергії тощо. Таке підвищення впливає не тільки на виробничу, але і на експлуатаційну сторону виготовлення та експлуатацію приладів.

Оця друга сторона сприяє більш повному задоволенню потреб ринку, формуванню іміджу виробника, як надійного партнера на ринку і його наступний вихід на світовий ринок. Можна відмітити і інший вплив на структуру виробництва: зростання продуктивності праці, темпи та ефективність науково-технічного прогресу тощо.

Як відомо, основні типи показників якості приладів відповідають шести групам за відношенням до властивостей (призначення, надійності, технологічності, ергономічності, естетичності, стандартизації, патентно-правові та економічні), кількості властивостей (одиничні, комплексні, інтегральні), методом призначення (інтегральні, розрахункові, статистичні, органолептичні, експертні, соціологічні та комбіновані), стадією визначення (проєктні, виробничі, експлуатаційні, прогнозовані), розмірністю величин (абсолютні, приведені, безрозмірні), значущістю при оцінці (основні, допоміжні) [2]. Для загальної оцінки якості приладів використовуються комплексні показники, такі як: середньоарифметичні, геометричні, квадратичні та зважені, гармонійно зважені. Їх визначення пов'язане з

використанням статистичних методів, при яких на початку визначаються закони їх розподілу, довірчі границі та інтервали для характеристик оцінюваних показників якості, порівнюються їх середні значення для встановлення випадкової чи закономірної відмінності, дисперсії характеристик якості, далі кореляційний зв'язок між двома характеристиками показників якості, параметри залежності характеристик якості від інших чинників, що можуть на них впливати, вплив чинників на зміну характеристики якості.

Оцінювання технічного рівня приладів шляхом порівняння оптимальних показників технічної довершеності з встановленими базовими значеннями прототипу проводиться за характеристиками основних показників якості, групового показника якості, органолептичної оцінки, комплексного показника якості. В якості оптимальних показників якості можуть прийматися проектні показники якості спроектованого приладу, який використовується як базовий варіант, хоча таке допущення не є цілком об'єктивним, оскільки при його виготовленні можливі зміни.

Виробничі витрати пов'язані з технічною та організаційною підготовкою виробництва, одержанням комплектуючих, заготовок, виготовленням деталей, гнучким їх складанням, іншими невиробничими витратами. Після встановлення прибутку (його величина в наших умовах повинна бути нормованою) визначається ринкова ціна приладу, котра є однією зі сторін конкурентоспроможності. Тепер вона визначається з балансу попиту та пропозиції на прилад, що інколи породжує надприбутки і супроводжуючі їм зловживання.

Витрати споживача по експлуатації приладу залежатимуть від потрібної енергії (паливо, тощо), обслуговування, функціонального використання, ремонту, інших видатків і безумовно кваліфікації споживача. Це і буде другою стороною конкурентоспроможності.

На підставі порівняння одержаних характеристик різних показників визначається корисний і не корисний ефекти використання приладу у споживача. Навряд чи є сенс відмічати, що корисний ефект, який завжди супроводжуватиме експлуатацію приладу, повинен бути мінімальним. При аналізі зміни показників якості приладу і базового варіанту використовується комплексний показник якості чи індекс якості [4, 5]

$$K_{як} = \sum_{i=1}^m p_i a_i, \quad (1)$$

де p_i – одиничні показники якості i -ої техніко-економічної характеристики, a_i – його ваговий коефіцієнт; m – кількість показників.

Рекомендується розглядати комплексні показники якості нового приладу спочатку за кожним з сегментів ринку, а потім в загальному. Таке порівняння обумовлює повний технічний рівень розробленого приладу.

Інтегральний показник якості приладу можна також виражати, як співвідношення ефекту при експлуатації $E_{екс}$ та поточних річних витрат $P_{річ}$ [2,6]

$$J = E_{екс} / P_{річ}, \quad (2)$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності може визначатися подібно за виразом

$$K_{інт} = \sum_{i=1}^n k_i a_i \quad (3)$$

де k_i – відносний показник конкурентоспроможності виробу та його базового варіанту; a_i – ваговий коефіцієнт i -ого показника.

При порівнянні інтегрального показника якості J з базовим варіантом $J_б$ визначається рівень конкурентоспроможності

$$K_{ріс} = J / J_б. \quad (4)$$

Вважається, що якщо $K_{ріс} > 1$, то плануємий у виробництво прилад є абсолютно конкурентоспроможним, якщо ж $K_{ріс} \approx 1$ – умовно конкурентоспроможний і при $K_{ріс} < 1$ – неконкурентоспроможний. Методами оцінки конкурентоспроможності приладів є апроксимаційний (між показниками є кореляційна залежність), аналітичних залежностей абсолютних показників (проводиться за етапами встановлення номенклатури показників, формуванням групи аналогів, відокремлення базового приладу, розрахунком інтегральних показників рівня конкурентоспроможності), комплексних відносних показників (коли не може бути розрахованим за аналітичними залежностями абсолютних показників і використовується відносний ефект), ідеальної моделі (за наявності не вимірювальних та неспроможних показників).

Таким чином, підвищити рівень конкурентоспроможності приладу можна за рахунок:

- досконалості конструкції приладу з високим конструкційним, технологічним і експлуатаційним рівнями та відповідними показниками якості;
- малих виробничих витрат по його виготовленню, тобто сучасних вискоелективних технологічних процесів, переналагоджуваного обладнання та оснащення, високої організації праці, малих не виробничих та інших витрат;
- малих витрат у споживача по експлуатації приладу, як коштів потрібної енергії для його роботи, простого використання та обслуговування, ремонту, інших непрямих видатків;
- правильного вибору узasadненого базового варіанту приладу для порівняльної оцінки;
- узasadненого прибутку та ціни приладу на ринку;
- високої кваліфікації як проектного та виробничого персоналу, так і споживача;
- ситуації на державному та міжнародному ринках;
- іміджу проектантa та виробника.

При цьому слід зауважити, що конкурентоспроможність є поняттям відносним, прив'язаним як до багатьох чинників ринку, часу продажі тощо, так і індивідуальних. Кожний споживач має свій критерій оцінки конкурентоспроможності, який складається з ціни приладу та витрат, пов'язаних з його експлуатацією. Тому найбільш конкурентоспроможний прилад не є той, який має мінімальну ціну, а той, якому притаманні мінімальні витрати експлуатації під час максимальної моральної та фізичної довговічності.

Гнучке модульне автоматичне складання приладів в загальному ланцюжку конкурентоспроможності складає здавалось би невелику частину, а однак суттєву, оскільки всі показники якості приладів формуються під час такого складання. Тому конкурентоспроможність гнучкого складання приладів повинна оцінюватися у порівнянні з автоматичним або ручним механізованим складанням, яке тепер на виробництві є домінуючим.

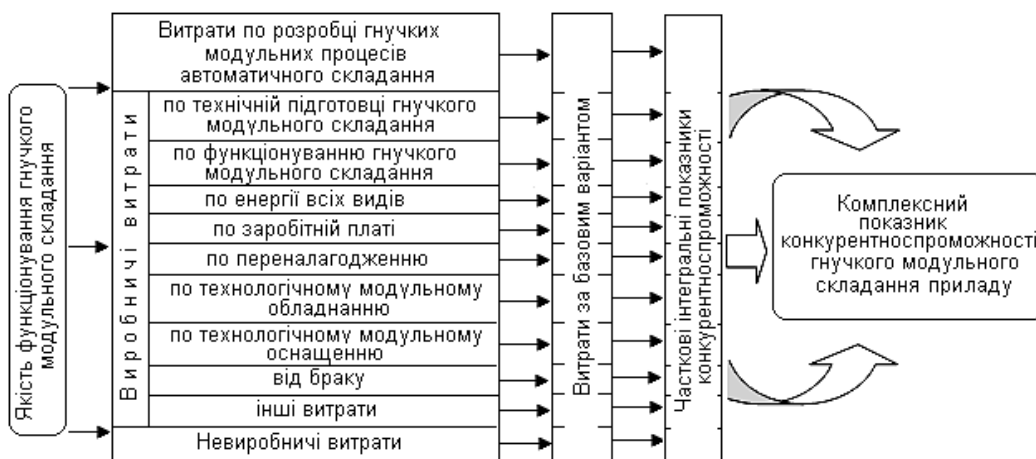


Рис. 2. Схема формування конкурентоспроможності гнучкого автоматичного складання різновидів приладів

На рис. 2 наведена схема, за якою можна прослідкувати формування конкурентоспроможності гнучкого модульного складання різновидів приладів. Основними витратами можна вважати витрати по розробці гнучких технологічних модульних процесів, групу виробничих витрат, пов'язаних з реалізацією технології гнучкого складання та можливі невиробничі витрати. Величина кожного різновиду витрат встановлюється за відомими залежностями [4]. Далі з згаданих міркувань вибирається базовий варіант складального виробництва приладів, наприклад, автоматичне складання з виділенням подібних груп витрат. Частковий інтегральний показник конкурентоспроможності за витратами для порівнювальних варіантів n при $a_i = 1$ визначається як

$$K_1 = \sum_{i=1}^{10} k_i a_i = B_1 + B_2 + \dots + B_{10}, \quad (5)$$

$$K_6 = \sum_{i=1}^{10} b_i k_i a_i = b_1 B_1^6 + b_2 B_2^6 + \dots + b_{10} B_{10}^6, \quad (6)$$

де B_1, B_2, \dots, B_{10} і $B_1^\sigma, B_2^\sigma, \dots, B_{10}^\sigma$ - відповідно витрати порівнювального гнучкого і базового варіантів складального виробництва виробів, b_1, b_2, \dots, b_{10} - коефіцієнти зміни окремих витрат.

Аналізується також частковий рівень конкурентоспроможності оскільки він стосується лише часткової частини конкурентоспроможності. При такому порівнянні слід обов'язково враховувати кількість приладів, які складаються в гнучкому та автоматичному виробництві, тобто потрібні витрати на складання групи приладів або їх складальних одиниць. Частковий рівень конкурентоспроможності складатиме

$$K_{\text{рів}}^* = (B_1 + B_2 + \dots + B_{10}) / (b_1 B_1^\sigma + b_2 B_2^\sigma + \dots + b_{10} B_{10}^\sigma). \quad (7)$$

При порівнянні витрат порівнюваного та базового варіантів можуть застосовуватися два підходи: спрощений та розширений. При спрощеному підході вважається, що мінімальність загальних витрат забезпечується мінімальністю його складових. У гнучкому складальному виробництві спрощений підхід означає, що намічаються та проводяться заходи по зменшенню окремих видів витрат, які приводять до зменшення загальних витрат. Розширений підхід крім того передбачає можливість збільшення окремих видів витрат при забезпеченні мінімальності загальних витрат. Застосування такого підходу є більш ефективним, особливо при аналізі сумарних витрат в гнучкому модульному складанні. Приймаючи величину витрат базового варіанту сталою, можна записати

$$K_{\text{рів}}^* = B_{\text{заг}} / B_{\text{const}}, \quad (8)$$

є $B_{\text{заг}}$ - загальні витрати гнучкого модульного складання та постійні, представлені графічно (рис.3). У випадку рівності таких витрат (1) маємо умовну конкурентоспроможність, вище якої лежить область не конкурентоспроможності варіантів гнучкого модульного складання, а нижче - конкурентоспроможності. Порівняння з базовим варіантом, який має загальні витрати B_{c_i} показує, що при більших витратах розроблюваний варіант буде неконкурентоспроможний (точка H) і його необхідно відкинути або зменшувати його витрати (точка K).

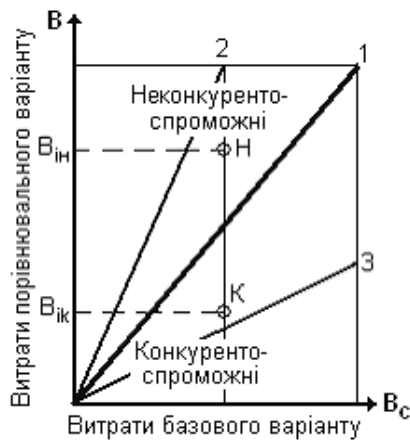


Рис. 3. Залежність витрат порівнювальних варіантів при їх різній конкурентоспроможності

Така випереджувальна оцінка конкурентоспроможності дозволяє представити вже на цій стадії забезпечення конкурентоспроможності приладів при їх гнучкому модульному складанні. З метою полегшення одержання більш достовірного рішення можна побудувати конкурентоспроможні залежності від окремих видів затрат при розширеному підході.

Більш точно випереджувальну оцінку конкурентоспроможності приладів гнучкого модульного виробництва можна одержати за допомогою віртуального

проекування складальних технологій та забезпечуючих конструкцій приладів і технологічного обладнання з оснащенням [6]. Структура інформаційної моделі оцінки конкурентоспроможності включає початкові технічні, експлуатаційні та економічні показники, що визначають рейтинг об'єкту розгляду у порівнянні з прийнятими аналогами. Далі виконуються розрахунки величин показників, що підлягають оцінці. Підлягають аналізу технологічні можливості, ресурсозбереження, продуктивність, точність, надійність, стабільність, закупівельна ціна, вартість експлуатації. При цьому найкраще використовувати електронну базу даних споживчих, конструкційних, технологічних, експлуатаційних і вартісних показників об'єктів гнучкого виробництва, в тому числі і приладів, які там продукуються. Така база тепер створюється.

Особливості методики випереджувальної оцінки конкурентоспроможності продукуюмих приладів в гнучкому виробництві полягають у тому, що віртуально враховується комплексний вплив всіх оцінюючих показників за рахунок вагових коефіцієнтів, здійснюється можливість автоматизованого їх розрахунку. Кінцевий порівняльний результат може представлятися графічно на моніторі комп'ютера, а також така підсистема може входити в склад інших систем. Можна окреслити напрямки розвитку методики оцінки конкурентоспроможності приладів гнучкого виробництва. По-перше, це встановлення внутрішніх зв'язків між різними

оцінюючими показниками типових груп приладів та їх вплив на основні показники якості. По-друге, формування електронних баз даних, необхідних для розрахунків конкурентоспроможності. По-третє, розробка, дослідження та використання типових інформаційних моделей для конкретних гнучких модульних виробництвах, як підсистеми технологічної підготовки гнучкого складального виробництва.

Інформаційні джерела

1. Волчеквич Л.И. Автоматизация производственных процессов. Учеб. пособие. - М.: Машиностроение, 2005.-380 с.
2. Козырев Ю. Г. Гибкие производственные системы. Справочник: справочное издание - М. : КНОРУС, 2017. — 364 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. Т.Ш-3 / А.М.Дальский и др. / Под общ. ред. А.Г.Сулова. -М.: Машиностроение, 2002. -840 с.
4. Технология автоматической сборки / А.Г.Холодкова и др. Под ред. А.Г.Холодковой. – М.: Машиностроение, 2010.-560 с.:ил.
5. Валетов В.А., Помпеев К.П. –Технология приборостроения. Учебное пособие. –СПб.: НИУИТМО, 2013г. –234с.
6. Божидарнік В.В., Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А. Автоматичне складання виробів: Навч. посібник. -Луцьк, „Надстир'я”. 2005. -386 с.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРИБОРОВ ПЕРЕД ИХ РАЗРАБОТКОЙ

Разработана методика опережающей оценки конкурентоспособности проектируемых приборов, обеспечивает появление на рынке высококачественной продукции. Большинство работ при определении конкурентоспособности сосредоточено на определении производственных и эксплуатационных затрат уже готовых приборов. Однако эти данные должны быть получены заранее, еще до их проектирования. Методика опережающей оценки конкурентоспособности заключается в управлении основном технологическими и конструкционными факторами, к которым относится влияние отдельных свойств на конкурентоспособность через коэффициенты корреляции, большинство из которых определяется из уравнений регрессии. Увеличить конкурентоспособность можно за счет применения технических инноваций как конструкций, так и технологий, интеллектуальных систем поддержки принятия технологически конструкционных решений, а также виртуализации, которые учитывают как результаты течения виртуальных сборочных процессов, так и последствия виртуальной эксплуатации приборов. При этом рассчитывается интегральный показатель качества и конкурентоспособности.

Ключевые слова: конкурентоспособность, оценка, методика, факторы, опережение.

N. Grigorieva, V. Shabaykovich, I. Marchuk
Lutsk National Technical University

PREVIOUS DETERMINATION OF COMPETITIVENESS BEFORE DEVELOPMENT OF DEVICES

A methodology has been developed for the advanced assessment of the competitiveness of the designed devices, which ensures the appearance of high-quality products on the market. Most of the work in determining competitiveness is focused on determining the production and operating costs of finished devices. However, this data must be obtained in advance, even before their design. The method of advanced assessment of competitiveness consists in managing mainly technological and structural factors, which include the influence of certain properties on competitiveness through the correlation coefficients, most of which are determined from the regression equations. Competitiveness can be increased through the use of technical innovations in both designs and technologies, intelligent systems to support technological and design decisions, as well as virtualization, which take into account both the results of virtual assembly processes and the consequences of virtual operation of devices. The integrated indicator of quality and competitiveness is calculated.

Key words: competitiveness, assessment, methodology, factors, anticipation.

UDC 681.52

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-4

Hryniuk V.V., Vynnychuk A.G., Klochko N.B.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

DEVELOPMENT OF INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR AUTOMATIC REGULATION OF GREENHOUSE PREMISES MICROCLIMATE

The topical issue of increasing the efficiency of growing crops in greenhouses is considered in the work. The analysis of the microclimate main parameters in greenhouses is carried out. The urgency of developing an information and measuring system for automatic regulation of the greenhouses' microclimate is substantiated. Based on the analysis, it is established that the main information parameters of the greenhouses' microclimate are: temperature and soil moisture, temperature and humidity, lighting of the greenhouse. Automatic adjustment of these parameters is the basis of the developed information and measurement system. The operation principle of the information-measuring system is formulated and the choice of its main elements is made. The schematic diagram of the information-measuring system is developed and the peculiarities of its functioning are described. Basing on functional and electrical schematics the working model of information-measuring system for automatic regulation of greenhouse premises microclimate is constructed.

Key words: *microclimate, regulation, information-measuring system, greenhouse.*

Introduction. The growth and development of indoor plants is closely related to environmental conditions. In order to be able to do this, optimal microclimate conditions have to be provided. Under the microclimate we understand the conditions in a relatively isolated area (in this case - the room). These include parameters such as air and soil temperature, humidity and luminosity.

The microclimate cannot be constant. It varies depending on the season, day or night, as well as the state of the lower atmosphere in a given area at a certain time. Different crops require certain climate parameters. In addition, the greenhouse should protect plants from external stimuli, in particular: wind, frost, pests, etc. Modern greenhouses have certain characteristics which allows to reduce the probability of plant diseases and significantly increase yields.

Since most greenhouses are almost airtight, and natural light falls in insufficient quantities, which reduces the intensification rate of photosynthetic radiation plant uptake, a necessary condition for effective growth is the installation of special fluorescent phytolamps. Such lamps are the most optimal and economical option.

The spectrum of light and intensity are close to natural, due to this the microclimate of the greenhouse is not disturbed, and the processes of photomorphogenesis proceed faster [1]. Fluorescent phytolamps produce twice as much light energy per unit of electrical power than incandescent lamps and have a life of about 20,000 hours [2]. Such lighting saves energy resources, which will reduce the cost of crops grown.

Most modern greenhouses, which are built for growing early products, have a soil heating system. It is also advisable to control the temperature of the root layer with thermometers. Low substrate temperature (less than 8 °C) blocks the supply of nitrogen and potassium to plants. At 10-15 °C in the area of the root system inhibits the flow of potassium, magnesium and phosphorus, on the other hand, high temperatures (more than 20 °C) at night increase the flow of sodium and calcium in the leaves, but reduce the level of phosphorus. Suppression of plant development at low temperatures, which is accompanied by symptoms of deficiency of the above nutrients, can be easily corrected by regulating the temperature of the heating circuit.

Indoor plants ripen much faster than in open ground. Only for the early harvest almost always you have to invest extra time and effort, because greenhouse crops are particularly in need of regular watering. Adjusting drip irrigation will simplify the care of plants, as well as reduce water consumption for irrigation. The chemical composition of the nutrient solution (calcium, magnesium, chlorine, iron, etc.) is also important [3].

Material and results of the study. Basing on the analysis, a functional diagram was developed (Fig. 1).

The element base for the construction of information and measuring system for climate control of greenhouses was chosen, namely: microprocessor platform (Arduino UNO), LCD display (LCD

Nokia 5110), control buttons, sensors for measuring soil temperature (DS18B20), soil moisture 69), temperature and humidity (DHT-11) and illumination of the greenhouse (BH1750). The executive mechanism will be a four-channel relay module 5B (10 A) with galvanic isolation.

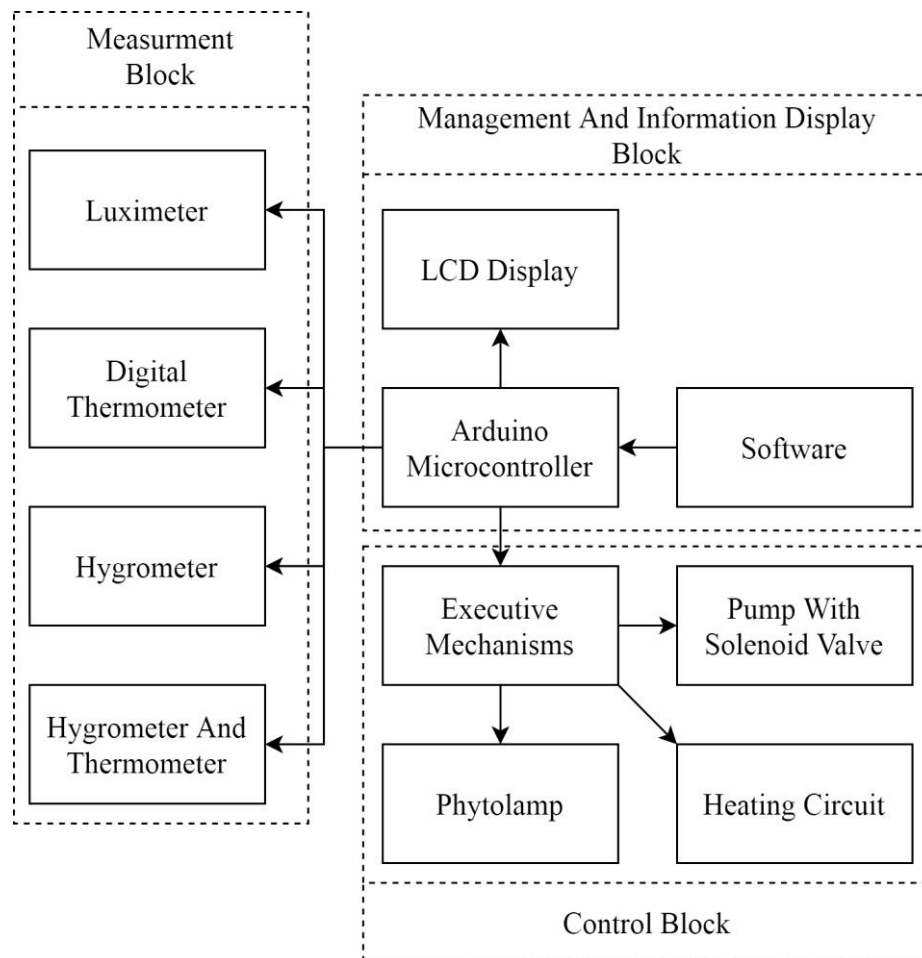


Fig.1. Functional diagram of the developed information and measurement system

Arduino UNO - microcontroller based on AVR controller, has the optimal ratio: price-functionality (capabilities) [5]. Technical characteristics: controller - ATmega328; operating voltage - 5 V; supply voltage (recommended) - 7-12 V; supply voltage (limit) - 6-20 V; digital inputs/outputs - 14; analog inputs - 6; maximum current of one pin (contact) - 40 mA; maximum output current - 3.3V 50 mA; flash memory - 32 KB (ATmega328), 0.5 KB used by bootloader; SRAM - 2 KB; EEPROM - 1 KB; clock frequency - 16 MHz.

LCD Nokia 5110 - for displaying information. Controlled by the serial SPI interface, displays the simplest graphics [6]. Technical characteristics: dimension - 84x84 pixels; the size of the working field - 31x19 mm; illumination - light blue; LCD controller - PCD8544; supply voltage - 2.7-3.3 V; display current consumption - less than 5 mA; backlight current consumption - up to 10 mA; the size of the module - 43x45 mm; operating temperature - from 0 to +50 °C.

DS18B20 - temperature sensor [7]. Made in a waterproof case. Technical characteristics: supply voltage - from 3 to 5.5 V; temperature measurement range - from -55 to +125 °C; measurement error (in the range -10... +85 C) - 0.5 °C; measurement time (does not exceed) - 750 ms; interface - 1-Wire.

Y1-69 - soil moisture sensor. Made in the form of a fork, which has to be stuck in the ground for measurements [8]. Technical characteristics: the maximum depth of immersion in soil - 40 mm; maximum current consumption - 50 mA; supply voltage - 3.3-5 V; the size of the block of the comparator -14x31; the size of the sensor is 20x66 mm.

DHT-11- humidity and air temperature sensor [9]. It consists of a sensitive capacitive element, an NTC thermistor, and an 8-bit chip that converts an analog signal from sensors to digital. Technical characteristics: supply voltage - 3...5 V; output signal - digital; maximum current consumption - 2.5 mA during conversion (when requesting data); sensitive element - polymer capacitor, NTC thermistor;

humidity measurement range - 20 ... 90%, error $\pm 5\%$; temperature measurement range - 0 °C...+ 50 °C, error ± 1 °C; minimum delay in measurement - 1 s.

BH1750 - light sensor [10]. The measurement is performed using a photodiode. Technical characteristics: chip - BH1750FVI ROHM; filtering of light noise - 50/60 Hz; operating supply voltage - 3.3-5V; current consumption - 120 μ A; current consumption in sleep mode - 0.01 μ A; sensitivity - 65536 gradations; accuracy in the mode of high resolution - 1 Lk; accuracy in the mode of low resolution - 4 Lk; measurement period in high resolution mode - 120 ms; measurement period in low resolution mode - 16 ms; data bus - I2C interface.

The electrical schematic diagram of the developed information and measurement system is presented in Figure 2.

The software (algorithm of work) is written in the Arduino IDE programming environment, using the C programming language [4].

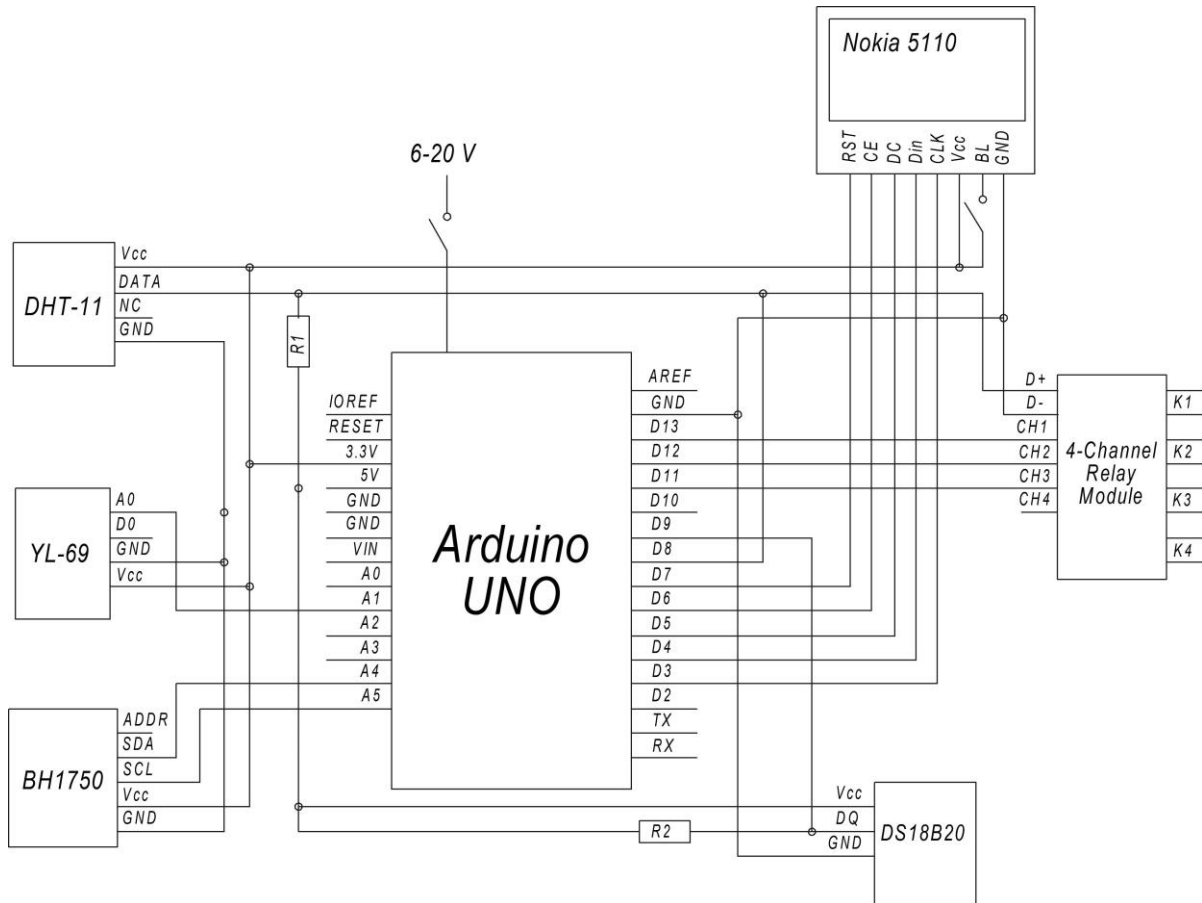


Fig.2. Electrical schematic diagram of developed information and measurement system

The principle of operation of the developed system is following: microclimate parameters (minimum and maximum values) and the interval for reading data from the sensors are set. If the measured parameter exceeds the specified limits, the heating circuit, pump with solenoid valve or phytolamps are switched on or off via the executive mechanism (relay). The display is used to display the current data received from the sensors. The block diagram of the algorithm is presented in Figure 3.

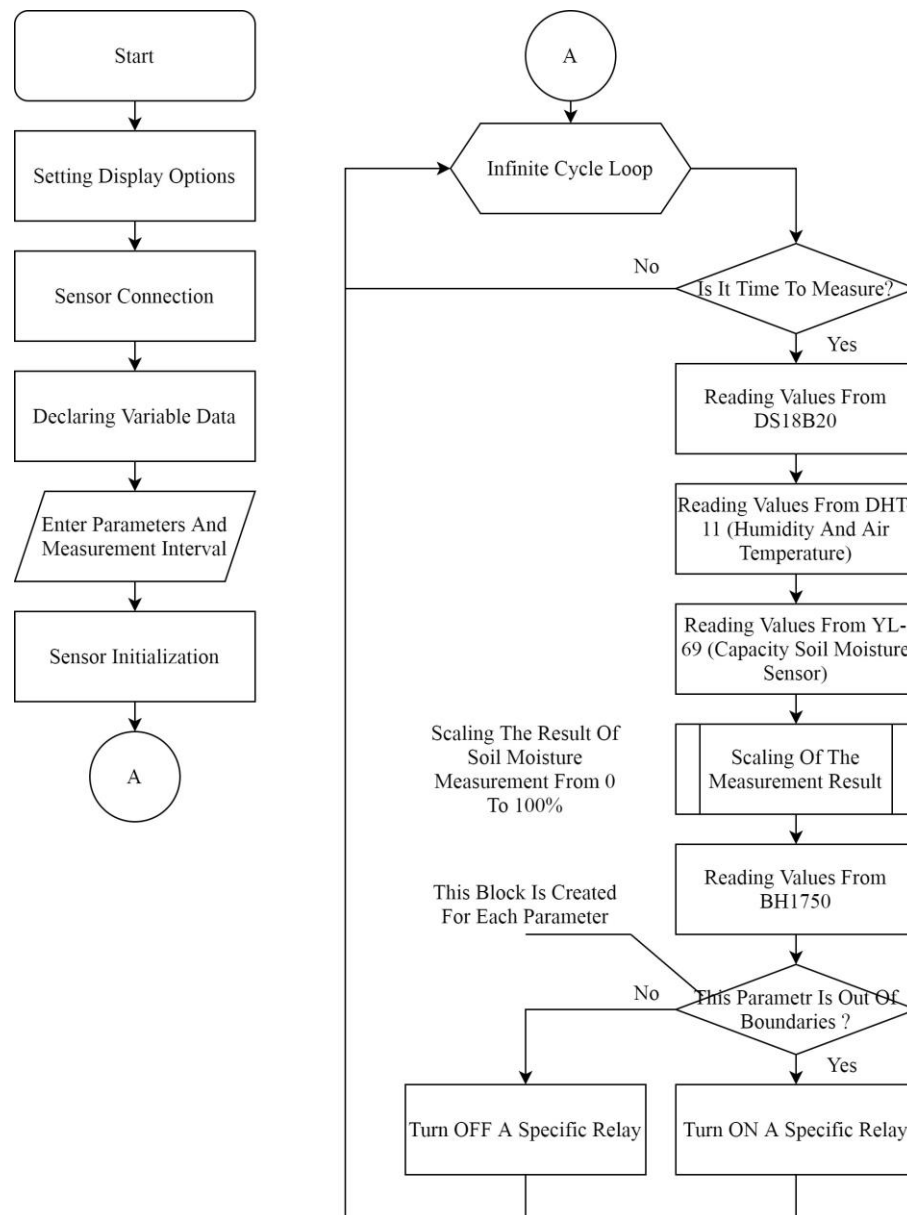


Fig.3. Block diagram of the algorithm of the developed system

Conclusions. Today, in many sectors of the economy, there comes a time when it is necessary to increase productivity and reduce costs. At first glance, this seems to be a mutually exclusive concept, however, in the developed system, we tried to implement it by automating key processes related to regulation. This issue is especially relevant for owners of small greenhouses.

References

1. Makrushin M.M., Makrushina E.M., Peterson N.V., Melnikov M.M. Plant Physiology: a textbook / edited by prof. M.M. Makrushina. Vinnytsia: Nova Kniga, 2006. 416 p.
2. Pavliuk A.V. Analysis of modern lighting systems in protective soil. Scientific student readings - 2016: a collection of materials of the scientific-practical conference of students. Zhytomyr, 2016. P.150-157.
3. Bekkalieva M.A., Nurmukhanova A.A., Kazhenov R.A., Gubasheva B.E. Influence of irrigation water quality on growth and development of tomatoes. A young scientist. 2019. № 8 (28). Pp. 88-91.
4. We study Arduino: tools and methods of technical magic: Translated from English - SPb.: BHV-Peterburg, 2015. 336 p.

5. Baran V.S., Vlasiuk G.G., Onikienko Y.O., Smolenskaia O.I. Fundamentals of microprocessor technology: laboratory workshop: textbook for students. specialty 171 "Electronics". Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2019. 140 p.
6. Nokia 5110 LCD display. Access mode: <https://radioprogram.ru/shop/merch/48>
7. DS18B20 - temperature sensor with 1-Wire interface. Description. Access mode: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperatury-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html>
8. Soil moisture sensor. Access mode: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-vlazhnosti-pochvy-arduino/>
9. Temperature and humidity sensors DHT11 and DHT22 and Arduino. Access mode: <http://arduino-diy.com/arduino-datchiki-temperatury-i-vlazhnosti-DHT11-i-DHT22>
10. BH1750 - Digital light sensor / luxmeter (module GY-302). Access mode: <https://micro-pi.ru/bh1750-gy-302-datchik-osveshchennosti>.

Список використаних джерел

1. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин: підручник / за редакцією проф. М. М. Макрушина. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с.
2. Павлюк А.В. Аналіз сучасних систем освітлення в умовах захисного ґрунту. Наукові студентські читання – 2016: збірник матеріалів науково-практичної конференції студентів. Житомир, 2016. С.150-157.
3. Беккалиева М. А. Нурмуханова А. А., Каженов Р. А., Губашева Б. Е. Влияние качества поливной воды на рост и развитие томатов. Юный ученый. 2019. № 8 (28). С. 88-91.
4. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
5. Баран В.С., Власюк Г.Г., Оникієнко Ю.О., Смоленська О.І. Основи мікропроцесорної техніки: лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 140 с.
6. LCD дисплей Nokia 5110. Режим доступу: <https://radioprogram.ru/shop/merch/48>
7. DS18B20 – датчик температури с интерфейсом 1-Wire. Описание. Режим доступу: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperatury-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html>
8. Датчик влажности почвы. Режим доступу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-vlazhnosti-pochvy-arduino/>
9. Датчики температуры и влажности DHT11 и DHT22 и Arduino. Режим доступу: <http://arduino-diy.com/arduino-datchiki-temperatury-i-vlazhnosti-DHT11-i-DHT22>
10. BH1750 — Цифровой датчик освещенности/люксметр (модуль GY-302). Режим доступу: <https://micro-pi.ru/bh1750-gy-302-datchik-osveshchennosti>.

Гринюк В.В., Винничук А.Г., Клочко Н.Б.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ТЕПЛИЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В работе рассмотрен актуальный вопрос повышения эффективности выращивания сельскохозяйственных культур в тепличных помещениях. Осуществлен анализ основных параметров микроклимата в тепличных помещениях. Обоснована актуальность разработки информационно-измерительной системы автоматического регулирования микроклимата тепличных помещений. На основе проведенного анализа установлено, что основными информационными параметрами микроклимата тепличных помещений являются: температура и влажность почвы, температура и влажность воздуха, освещенность тепличного помещения. Автоматическое регулирование этих параметров положено в основу разработанной информационно-измерительной системы. Сформулирован принцип работы информационно-измерительной системы и осуществлен выбор основных ее элементов. Разработана принципиальная схема информационно-измерительной системы и описаны особенности ее функционирования. На основе функциональной и электрической

принципиальной схем построено рабочий макет информационно-измерительной системы автоматического регулирования микроклимата тепличных помещений..

Ключевые слова: *микроклимат, регулирования, информационно-измерительная система, тепличное помещение.*

Гринюк В. В., Винничук А.Г., Клочко Н.Б.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЧНИХ ПРИМІЩЕНЬ

В роботі розглянуто актуальне питання підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур в тепличних приміщеннях. Здійснено аналіз основних параметрів мікроклімату в тепличних приміщеннях. Обґрунтовано актуальність розроблення інформаційно-вимірювальної системи автоматичного регулювання мікроклімату тепличних приміщень. На основі проведеного аналізу встановлено, що основними інформаційними параметрами мікроклімату тепличних приміщень є: температура та вологість ґрунту, температура та вологість повітря, освітленість тепличного приміщення. Автоматичне регулювання цих параметрів покладено в основу розробленої інформаційно-вимірювальної системи. Сформульовано принцип роботи інформаційно-вимірювальної системи та здійснено вибір основних її елементів. Розроблено принципову схему інформаційно-вимірювальної системи та описано особливості її функціонування. На основі функціональної та електричної принципової схем побудовано робочий макет інформаційно-вимірювальної системи автоматичного регулювання мікроклімату тепличних приміщень.

Ключові слова: *мікроклімат, регулювання, інформаційно-вимірювальна система, тепличне приміщення.*

УДК 621.9.08-52

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-5

Денисюк В.Ю., к.т.н., Симонюк В.П., к.т.н., Лапченко Ю.С., к.т.н., Шибковський І.А.
Луцький національний технічний університет

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ НА СУБМІКРОННОМУ І НАНОМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНАХ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

В статті проведено огляд методів і приладової бази для дослідження трибологічних і механічних властивостей поверхні. Встановлено, що найбільш поширеними методами дослідження цих властивостей на мікро- і нанодіапазонах є контактні методи, засновані на взаємодії твердого наконечника з досліджуванним матеріалом.

У скануючій зондовій мікроскопії для комплексного дослідження трибологічних і механічних властивостей поверхні основним елементом вимірювальних модулів, які використовуються для наноіндентування і склерометрії є біморфний п'єзокерамічний зондовий датчик з алмазним наконечником. Оригінальна конструкція датчика дозволяє реалізувати більше десяти вимірювальних методик на одному приладі.

Робота цих приладів в напівконтактному скануючому зондово-мікроскопічному режимі дозволяє отримати зображення рельєфу поверхні і карту розподілу пружних властивостей. Режим індентування дозволяє виміряти твердість і модуль пружності, оцінити пружне відновлення матеріалу після індентування. Реалізовано метод вимірювання твердості за зображенням відновленого відбитка (метод аналогічний класичному мікроіндентуванню). Реалізовано метод нанесення подряпини з подальшим отриманням зображення рельєфу поверхні відновленого відбитка. Метод дозволяє визначити опір абразивного зношення і твердість матеріалу, адгезію і товщину тонких покриттів.

Ключові слова: *твердість, індентор, рельєф, трибометрія, склерометрія, індентування, сканування, зонд, нанотвердомір, датчик.*

Постановка проблеми. Зносостійкість є найважливішим експлуатаційним параметром для багатьох виробів, так як безпосередньо впливає на довговічність і надійність їх роботи. Традиційними способами поліпшення трибологічних властивостей виробів є нанесення на їх поверхню міцних захисних покриттів або модифікація поверхні і приповерхневого шару. Важливим завданням, що стоїть перед сучасною промисловістю, є зменшення глибини зміцнених шарів і створення надтонких покриттів без погіршення споживчих якостей виробу. Обов'язковою умовою для вирішення даного завдання є створення нових засобів і методів дослідження об'єктів на субмікрометровому і нанометровому діапазонах лінійних розмірів.

Для проведення механічних випробувань традиційно використовуються контактні методи. До них відносяться: метод вдавлювання індентора в матеріал (індентування), метод нанесення подряпин (склерометрія), метод багатоциклового стирання поверхні наконечником. Кожен з вищевказаних методів має певні обмеження щодо їх застосування в залежності від механічних і геометричних властивостей досліджуваної поверхні об'єкту. Ув'язка різнорідних даних отриманих при макро-, мікро- і нано- випробуваннях в єдину картину, що описує поведінку матеріалів і покриттів при їх експлікації є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Скануюча зондова мікроскопія (СЗМ) – один з найбільш поширених методів дослідження поверхні і поверхневих властивостей зразків в мікро- і нанометровому діапазонах. СЗМ дозволяє проводити дослідження, у вакуумі, на повітрі і в рідині як на провідних, так і на непровідних поверхнях. Основними елементами конструкції СЗМ є зонд, система переміщення зонда і реєструюча система. Реєструюча система фіксує величину сигналу, що залежить від відстані між зондом і зразком. Система негативного зворотного зв'язку обробляє реєстроване значення і підтримує постійну величину сигналу, керуючи положенням зразка або зонда.

До основних типів СЗМ відносяться: атомно-силові мікроскопи, тунельні мікроскопи, ближньопольні оптичні мікроскопи.

Робота атомно-силового зондового мікроскопа заснована на взаємодії поверхні зразка з наконечником, що розташований на кінці пружної консолі, яка називається кантилевером (рис. 1, а). Ван-дер-Ваальсові сили притягування і сили електростатичного відштовхування,

однойменно заряджених електронних оболонок атомів зонда і зразка, викликають вигин кантилевера. Вигин контролюється системою з лазера і секторного фотодетектора (рис. 1, б).

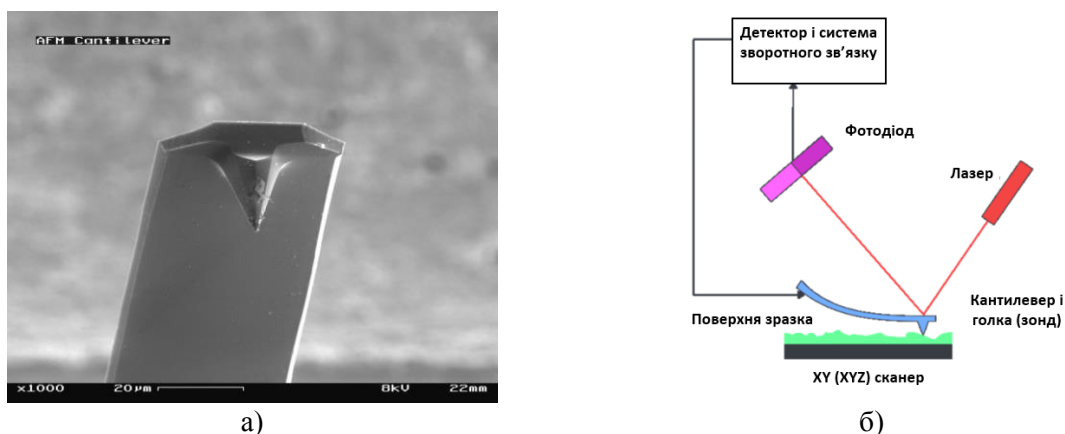


Рис. 1. Растрове електронно-мікроскопічне зображення кантилевера (а), схема реєстрації відгину кантилевера (б)

Модульні СЗМ дозволяють конфігурувати вимірювальний прилад під конкретну вузькоспеціалізовану задачу. На платформі INTEGRA (рис. 2) реалізовано близько 40 вимірювальних методик.



Рис. 2. СЗМ Інтегра Прима

Але даний СЗМ мають ряд недоліків. Одним з недоліків є невелике поле сканування (декілька сотень мікрометрів) і малий максимально допустимий перепад висот на зразку (декілька десятків мікрометрів). Інша проблема пов'язана з формою наконечника, його геометрією і радіусом заокруглення вістря. Наявність гострих виступів або западин призводить до неправильного відображення рельєфу поверхні при скануванні, відбувається «самосканування» наконечника (конволюція форми наконечника і рельєфу поверхні). Процес отримання СЗМ-зображення, як правило, тривалий. Оперативно проводити вимірювання (в реальному часі) важко, можливо не на всіх матеріалах і не у всіх умовах. Значний час накопичення даних призводить до спотворення СЗМ-зображень в зв'язку з температурним дрейфом зразка і деталей мікроскопа, що додає помилку у вимірюванні рельєфу [1].

Скануючий зондовий мікроскоп-нанотвердомір «НаноСкан-3D» (рис. 3) – багатофункціональне аналітичне обладнання, призначене для дослідження рельєфу поверхні, механічних і електричних властивостей. У приладі реалізовані методи вивчення рельєфу і структури поверхонь на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів, а також вимірювання механічних властивостей: вимірювання твердості методами наноіндентування [12], склерометрії [2, 13] і мікроіндентування [12], вимірювання модуля пружності методами наноіндентування [12] і силової спектроскопії [5, 6], вимірювання тріщиностійкості методами індентування та склерометрії [7], вимірювання зносостійкості і коефіцієнта тертя методами нанесення подряпин і циклічного стирання [8], вимірювання згинальної жорсткості

мікроконструкції [9]. Також реалізовані методи вимірювання поверхневого електричного опору об'ємних матеріалів і тонких плівок контактними однозондовими методами з високою локальністю проведення вимірювань [10].

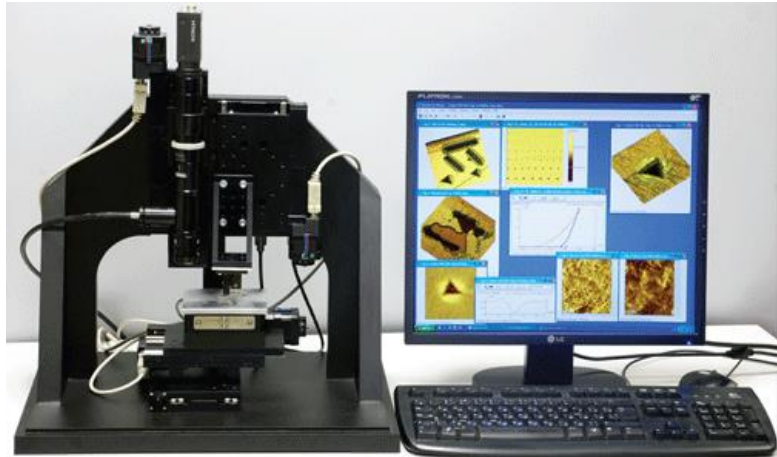


Рис. 3. Скануючий зондовий мікроскоп-нанотвердомір «НаноСкан-3D»

Мета роботи. Розроблення комплексу експериментально-теоретичних підходів до дослідження механічних та трибологічних властивостей матеріалів, що реалізуються на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів, порівняння одержуваних з їх допомогою результатів з традиційними трибологічними випробуваннями, а також дослідження можливості застосування цих підходів при аналізі трибомеханічних властивостей матеріалів при технологічному контролі матеріалів з певними властивостями.

Викладення основного матеріалу. Робота приладу «НаноСкан-3D» заснована на принципах скануючої зондової мікроскопії, основним чутливим елементом приладу є п'єзорезонансний зонд з високою згинальною жорсткістю консолі. Робота в режимі резонансних коливань дозволяє здійснювати контроль контакту вістря з поверхнею за двома параметрами: за амплітудою A і частотою F коливань зонда. Це дозволяє розрізнити в'язку і пружну компоненту взаємодії зонда з поверхнею, дозволяє відрізнити пружну поверхню від вузького забруднення на ній (виникає на відкритому повітрі), а також вимірювати механічні властивості поверхонь.

Висока згинальна жорсткість зонда дозволяє проводити механічні випробування шляхом механічної модифікації поверхні досліджуваного зразка. Реєстрований механічний відгук матеріалу дозволяє вимірювати його фізичні властивості: міцність і пружність.

Конструкція зонда дозволяє використовувати різноманітні наконечники, в тому числі алмазні індентори різної форми (пірамідальні, сферичні тощо).

Сканування поверхні. Скануючий нанотвердомір «НаноСкан-3D» дозволяє отримувати зображення тривимірного рельєфу поверхні методом скануючої зондової мікроскопії. Сканування виконується построкowo в напівконтактному режимі алмазним наконечником, закріпленим на п'єзокерамічному зонді. Зонд здійснює резонансні коливання на частоті $F \sim 10$ кГц з амплітудою $A < 50$ нм. У процесі сканування система зворотного зв'язку підтримує постійну частоту F або амплітуду A коливань зонда.

Використання різних опорних значень зворотного зв'язку призводить до отримання різних за змістом зображень однієї і тієї ж ділянки (рис. 4).

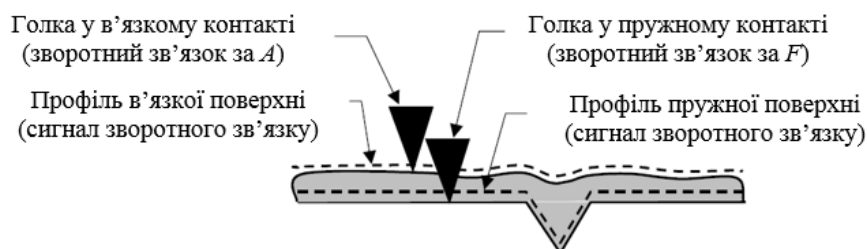


Рис. 4. Схема контакту голки з поверхнею при різних режимах роботи зворотного зв'язку

У режимі сканування за частотою забезпечується постійна жорсткість області контакту індентора з поверхнею. У цьому режимі зручно досліджувати матеріали з відносно високими значеннями твердості і модулем пружності (метали і сплави, кристалічні матеріали, кераміки). При цьому виключається або суттєво зменшується вплив присутності забруднення на поверхні зразка (рис. 5, а). У режимі сканування за амплітудою A профіль поверхні, в деякому наближенні відповідає постійній величині в'язких та інших втрат, що дозволяє вивчати м'які матеріали (полімери, пластики), мінімізувавши механічний вплив наконечника на зразок (рис. 5, б).

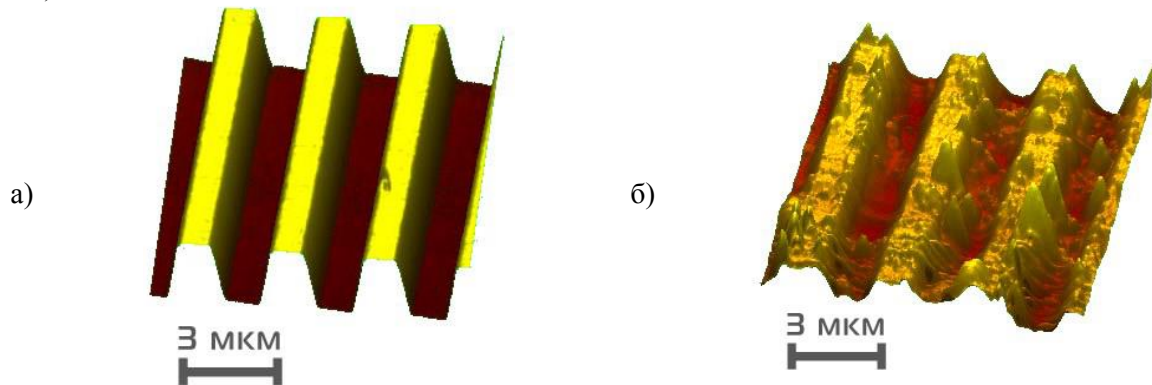


Рис. 5. СЗМ-зображення тестової міри періоду і висоти TGZ02: а) сканування зі зворотним зв'язком за частотою: зображення пружної («чистої») поверхні; б) сканування зі зворотним зв'язком за амплітудою: зображення в'язкої (забрудненої) поверхні

Вимірювання карт механічних властивостей. Коливальний режим роботи зонда дозволяє отримувати крім зображення рельєфу додаткову інформацію про структуру та механічні властивості досліджуваних зразків. У процесі сканування одночасно з висотою рельєфу записується зміна вільного параметра коливань зонда (при скануванні з постійною частотою F вільний параметр – амплітуда A , і навпаки). Отримане зображення являє собою карту розподілу в'язкопружних властивостей по поверхні. Даний режим дозволяє вивчати структуру багатофазних матеріалів, а також розподіл механічних неоднорідностей по поверхні. Карта розподілу механічних властивостей, що отримується в процесі сканування, є відносною і дає тільки якісну інформацію про абсолютні значення механічних параметрів.

На рис. 6 представлені зображення рельєфу поверхні і карта модуля пружності полікристалічного високочистого ніобію. Поверхня зразка травленню не піддавалася. Карта пружного модуля більш інформативна, ніж топографія рельєфу і дозволяє однозначно визначити межі зерен і їх розмір.

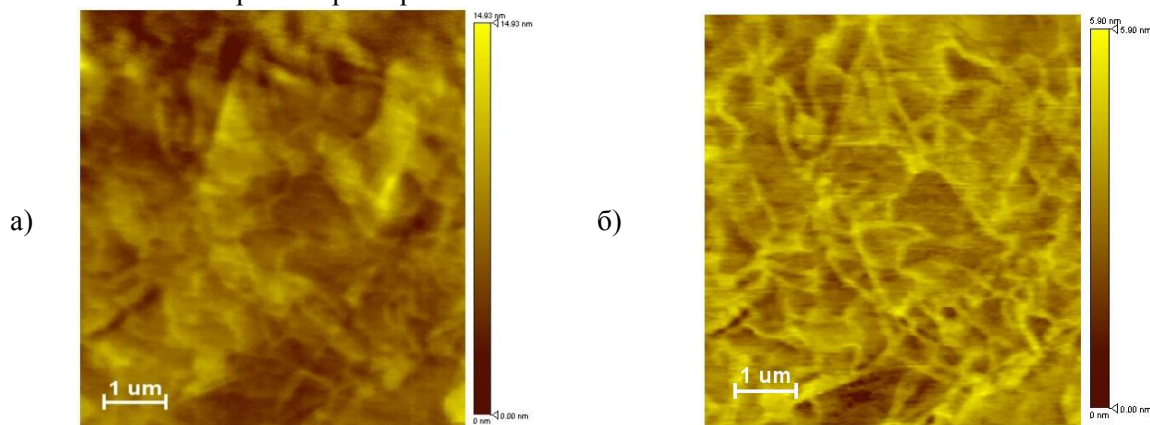


Рис. 6. Полікристалічний високочистий ніобій, полірована поверхня: а) рельєф поверхні; б) карта пружного модуля

Наноіндентування. У скануючому нанотвердомірі «НаноСкан-3D» реалізований метод наноіндентування, у якому випробування на втискання алмазного наконечника проводиться тим же датчиком, що і сканування рельєфу. Це дає можливість вибрати місце і провести випробування з точною прив'язкою до отриманого зображення рельєфу поверхні (рис. 7).

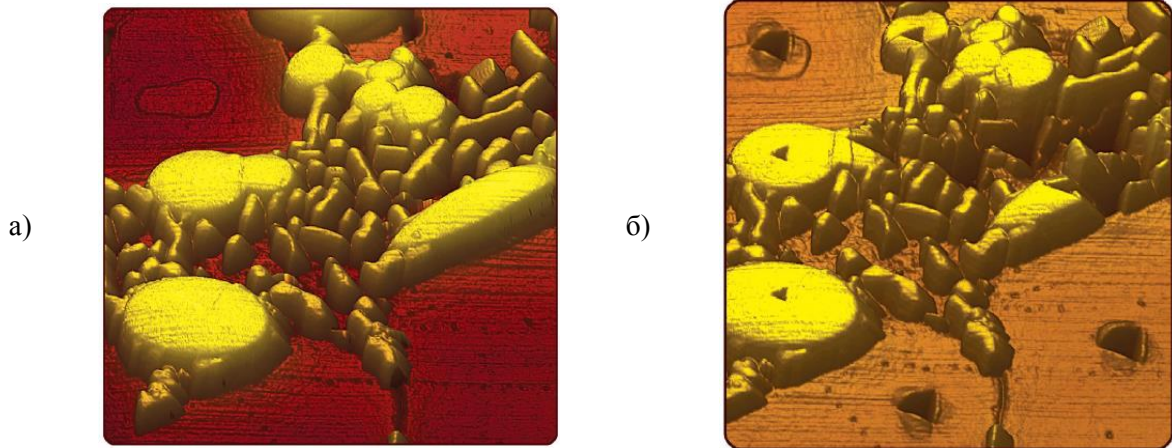


Рис. 7. Локальне вимірювання механічних властивостей методом наноіндентування: а) СЗМ-зображення рельєфу поверхні до випробування; б) СЗМ-зображення рельєфу поверхні після випробування

Метод дозволяє вимірювати величину твердості і модуля пружності матеріалу. Також наноіндентування використовують для оцінки повзучості, пружного відновлення, тріщиностійкості матеріалів; товщини і однорідності покриттів і приповерхневих шарів.

Вимірювання твердості за зображенням відновленого відбитка. Метод аналогічний класичному методу мікроіндентування, в якому твердість визначається з аналізу оптичного зображення відновленого відбитка [4]. Вимірювання площі відбитка на субмікронному і нанометровому діапазонах обмежується роздільною здатністю оптичних мікроскопів. В цьому випадку дуже ефективним способом є застосування методів СЗМ, що дозволяють отримувати тривимірні зображення відновлених відбитків з нанометровою просторовою роздільною здатністю. Аналіз тривимірного СЗМ-зображення дозволяє виявити і потім врахувати особливості деформації матеріалу при індентуванні (утворення навалів, тріщин, пружне відновлення) (рис. 8) [6].

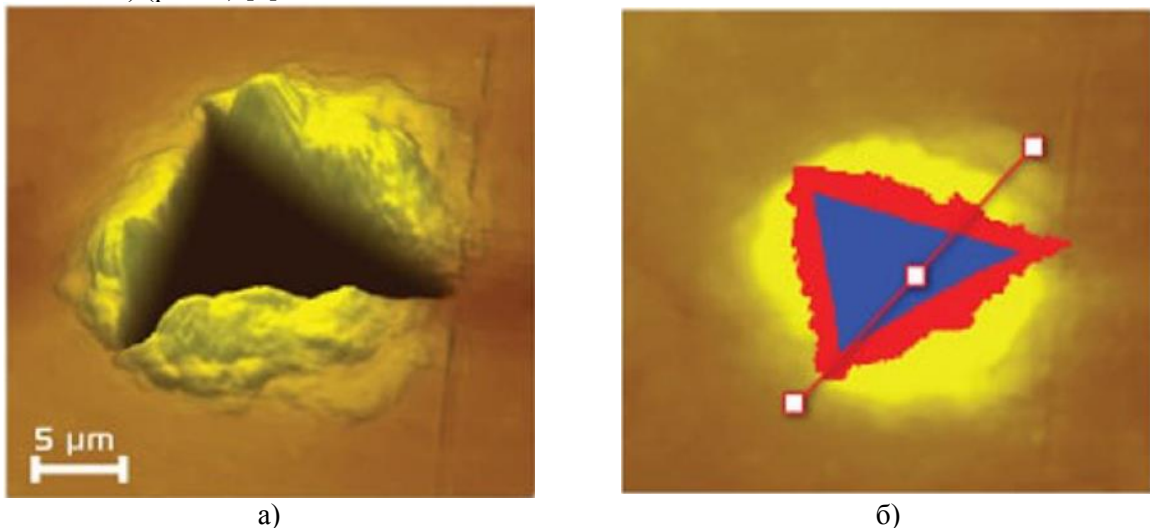


Рис. 8. Зображення відбитка на поверхні сталі У10, навантаження – 50 мН: а) СЗМ-зображення рельєфу; б) виділення площі проекції відбитку (синім) і площі навалів по його периметру (червоним)

Значення твердості в методі розраховується за формулою Мейєра [4] з урахуванням поправки на площу утворених навалів:

$$H = \frac{P_{\max}}{A_{\text{проекція відбитку}} + A_{\text{площа навалів}}} \quad (1)$$

і являє собою відношення максимального прикладеного до індентора навантаження до площі проекції відбитка, яка вимірюється за його СЗМ-зображенням.

Склерометрія. Вимірювання твердості методом склерометрії полягає в нанесенні подряпин на поверхні зразка з подальшим її скануванням і аналізом отриманого зображення (рис. 9) [13].

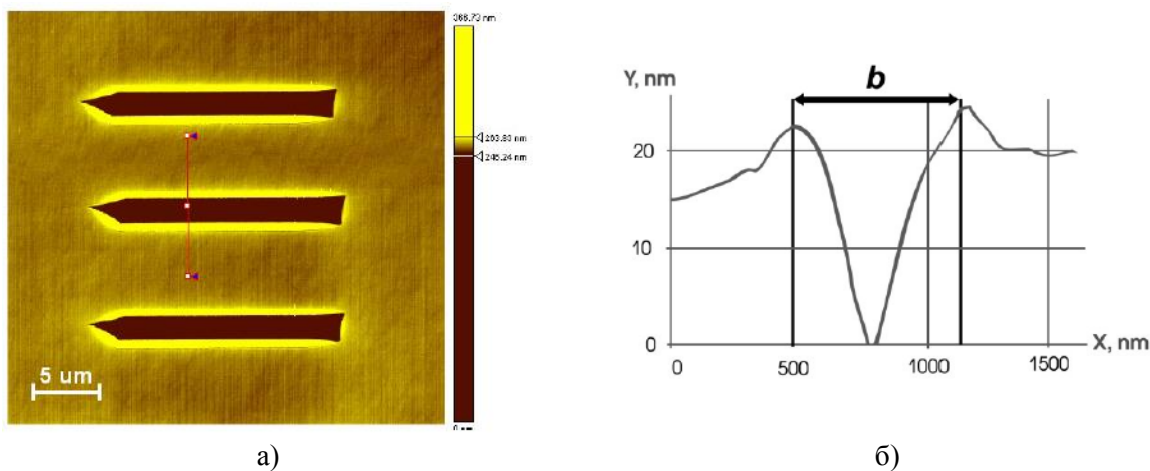


Рис. 9. Вимірювання твердості методом склерометрії:
а) СЗМ-зображення подряпини; б) схема визначення ширини подряпини

Значення твердості досліджуваного матеріалу визначають за формулою:

$$H = k \cdot \frac{P}{b^2}, \quad (2)$$

де P – нормальне зусилля, з яким була нанесена подряпина, виражене в Ньютонах; b – середньоарифметичне значення ширини подряпини, виражене в метрах; k – коефіцієнт форми індентора для даної ширини подряпини.

Коефіцієнт форми індентора k визначають, наносячи подряпини на міру (матеріал з відомою твердістю), і розраховують за формулою:

$$k = \frac{H_E b^2}{P}, \quad (3)$$

де H_E – значення твердості міри, каліброваної незалежним способом.

Метод склерометрії також застосовується для визначення деяких параметрів тонких плівок. Нанесення подряпин зі змінним навантаженням (рис. 10) і подальша візуалізація його сліду дає можливість визначити відразу декілька параметрів плівки в рамках однієї вимірювальної процедури: область пружної взаємодії, порогове навантаження, при якому починається пластична деформація (з'являється видимий слід на поверхні), навантаження відшарування або початку крихкого руйнування тонкої плівки і її товщину.

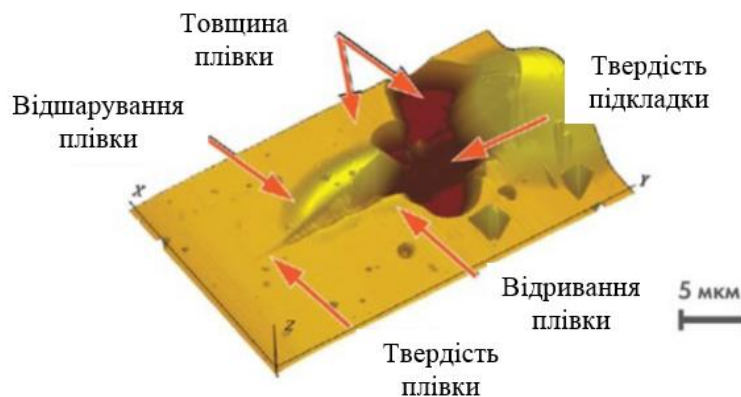


Рис. 10. Подряпина, зі змінним навантаженням, нанесена на тонку алмазоподібну плівку на кремнієвій підкладці

Силова спектроскопія. Вимірювання модуля пружності методом силової спектроскопії полягає у вимірюванні частоти коливань зонда з закріпленою на кінці голкою, при втисканні голки в поверхню зразка. Коли голка торкається поверхні, резонансна частота змінюється внаслідок дії сил пружного відштовхування (рис. 11). Зміна частоти записується для кожного положення зонда. Отримана залежність являє собою криву підведення (рис. 12).

Криві підведення для різних матеріалів мають різний нахил. Нахил кривої пропорційний значенню модуля пружності матеріалу в області контакту (рис. 13).

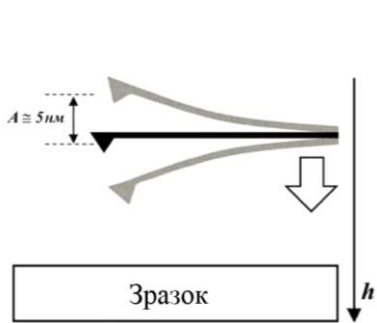


Рис. 11. Схема проведення вимірювань методом силової спектроскопії

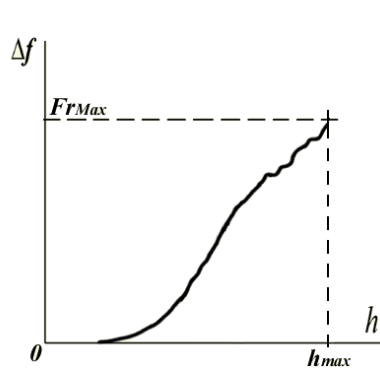


Рис. 12. Загальний вигляд кривої підведення

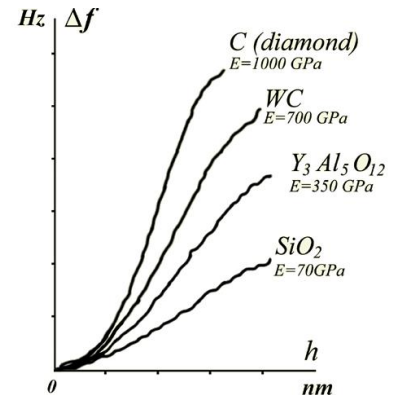


Рис. 13. Криві підведення для різних матеріалів

Перед вимірюванням прилад калібрується на матеріалах порівняння з відомим (виміряним незалежним способом) значенням модуля пружності. Потім крива підведення вимірюється для досліджуваного матеріалу. Шукане значення модуля пружності визначається за відомим значенням модуля пружності еталонного матеріалу і співвідношенню кутів нахилу робочих ділянок кривих підведення для досліджуваного і еталонного матеріалу.

Вимірювання жорсткості мікромеханічних систем. Для контролю жорсткості балок (рис. 14) і мембран (рис. 15) використовується режим вимірювання залежностей навантаження-переміщення, аналогічний методу інструментального наноіндентування. Реалізовано також режим багаторазового навантаження об'єкта індентором. В результаті такого випробування, можна визначити жорсткість (податливість) мембрани або балки, максимальний прогин мембрани, число циклів навантаження до руйнування.

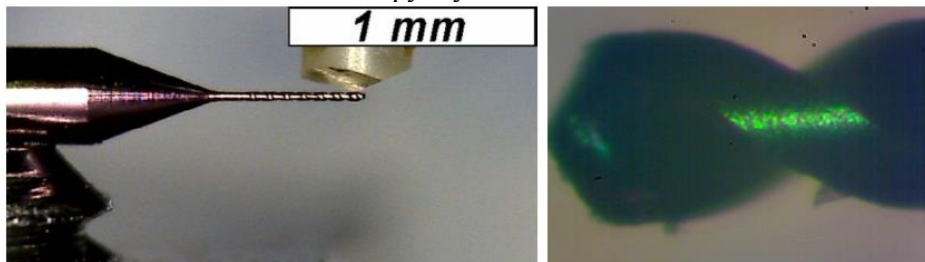


Рис. 14. Вимірювання жорсткості мікросверла покритого алмазоподібною плівкою (діаметр 100 мкм)

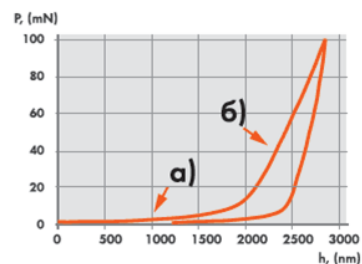


Рис. 15. Схема вимірювання властивостей мембрани і експериментальна крива навантаження-розвантаження: жорсткість і прогин мембрани (а), мембрана впирається в підкладку (б)

Для точного позиціонування місця навантаження в «НаноСкан-3D» застосовується цифровий оптичний мікроскоп з високою роздільною здатністю, а також режим попереднього сканування поверхні об'єкта в режимі скануючої зондової мікроскопії.

Висновки. Запропоновано комплексний підхід, що дозволяє встановити взаємозв'язок трибологічних властивостей покриттів і матеріалів з проведеними результатами, вимірювання досліджуваного матеріалу методами, індентування, склерометрії і СЗМ за допомогою єдиного п'єзокерамічного датчика з високочистим або напівпровідниковим алмазним наконечником в субмікронному і нанометровому діапазонах. Отриманню найкращого результату сприяє використання комплексу методів, на якому будуть реалізовані всі приведені вище експериментальні методи із застосуванням єдиного датчика. Розроблений комплекс вимірювальних методик і підходів слід використовувати при дослідженні різних нових матеріалах: композиційні матеріали, тверді, пружні і крихкі покриття на твердих кристалічних і м'яких полімерних підкладках.

Функціональні можливості скануючого нанотвердоміра «НаноСкан-3D» дозволяють реалізувати на його базі різні механічні випробування, такі як метод наноіндентування, метод склерометрії (нанесення подряпин), метод циклічного стирання поверхні. Модульна система дозволяє замінювати або вбудовувати нові елементи в конструкцію приладу, що дозволяє розширити область його застосування або підготувати прилад для проведення оригінальних експериментів.

Інформаційні джерела

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. Нижний Новгород, 2004 – 110 с.
2. Усеинов А., Усеинов С. Измерение механических свойств методом царапания Контроль и измерения // Наноиндустрия. № 6. 2010. С. 28–32.
3. Гоголинский К.В., Львова Н.А., Усеинов А.С. Применение сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердометров для изучения механических свойств твердых материалов на наноуровне (обобщающая статья) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Т. 73, № 6. 2007. – С.28–36.
4. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 2006. – 230 с.
5. Усеинов А.С. Измерение модуля Юнга сверхтвердых материалов с помощью сканирующего зондового микроскопа «НаноСкан» // Приборы и техника эксперимента. №1. 2004. – С. 134.
6. Усеинов С.С. и др. Особенности применения метода наноиндентирования для измерения твердости на наномасштабе // Нанотехника. № 13. 2008. – С. 111–115.
7. Усеинов А., Кравчук К., Маслеников И. Индентирование. Измерение твердости и трещиностойкости покрытий // Наноиндустрия. № 45(7). 2013. – С. 48–57.
8. Усеинов А.С., Кравчук К.С., Русаков А.А. Комплексное исследование физико-механических и трибологических свойств сверхтонких гальванических покрытий // Мир гальваники. № 3(19). 2011.– С. 51.
9. Королева В.А. и др. Оценка изгибной жесткости и деформации микроразмерных исполнительных элементов устройств микросистемной техники // Нано- и микросистемная техника. № 1. 2011.– С. 39–42.
10. Сошников А.И. и др. Измерение локального удельного сопротивления методами наноиндентирования и силовой спектроскопии // Приборы и техника эксперимента. № 2. 2013. С. 120–126.
11. Шибковський І.А., Денисюк В.Ю., Ковалюк Ю.І. Комплексне дослідження трибологічних властивостей на субмікронному і нанометровому діапазонах / Матеріали IV-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 29-30 жовтня 2020 р.): збірник тез. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020.– С. 100–102.
12. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. Vol. 7, № 6. 2002. – P. 1564.
13. Useinov A.S., Useinov S.S. Scratch hardness evaluation with in-situ pile-up effect estimation // Philos. Mag. Vol. 92, № 25. 2012. – P. 3188–3198.

Денисюк В.Ю., к.т.н., Симолюк В.П., к.т.н., Лапченко Ю.С. к.т.н., Шибковський І.А.
Луцький національний технічний університет

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА СУБМИКРОННОМ И НАНОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНАХ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

В статье проведен обзор методов и приборной базы для исследования трибологических и механических свойств поверхности. Установлено, что наиболее распространенными методами исследования этих свойств на микро- и нанодиапазоне есть контактные методы, основанные на взаимодействии твердого наконечника с исследуемым материалом.

В сканирующей зондовой микроскопии для комплексного исследования трибологических и механических свойств поверхности основным элементом измерительных модулей, которые используются для наноинdentирования и склерометрии является биморфный пьезокерамический зондовый датчик с алмазным наконечником. Оригинальная конструкция датчика позволяет реализовать более десяти измерительных методик на одном приборе.

Работа этих приборов в полуконтактном сканирующем зондово-микроскопическом режиме позволяет получить изображение рельефа поверхности и карту распределения упругих свойств. Режим инdentирования позволяет измерить твердость и модуль упругости, оценить упругое восстановление материала после инdentирования. Реализован метод измерения твердости по изображению восстановленного отпечатка (метод аналогичен классическому микроинdentуванню). Реализован метод нанесения царапины с последующим получением изображения рельефа поверхности восстановленного отпечатка. Метод позволяет определить сопротивление абразивному износу и твердость материала, адгезию и толщину тонких покрытий.

Ключевые слова: *твердость, инdentор, рельеф, трибометрия, склерометрия, инdentирование, сканирование, зонд, нанотвердомер, датчик.*

V. Denysiuk, V. Symonyuk, Y. Lapchenko, I. Shibkovsky
Lutsk National Technical University

METROLOGICAL PROVISION MEASUREMENT OF MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MATERIALS ON SUBMICRON AND NANOMETRIC DIACHIOR

The article reviews the methods and instrumentation for the study of tribological and mechanical properties of the surface. It is established that the most common methods for studying these properties in the micro and nanodranges are contact methods based on the interaction of the hard tip with the material under study.

In scanning probe microscopy for the complex study of tribological and mechanical properties of the surface, the main element of the measuring modules used for nanoindentation and sclerometry is a bimorph piezoceramic probe sensor with a diamond tip. The original design of the sensor allows to implement more than ten measuring techniques on one device.

The operation of these devices in the semi-contact scanning probe-microscopic mode allows to obtain images of the surface relief and a map of the distribution of elastic properties. The indentation mode allows to measure hardness and modulus of elasticity, to estimate elastic recovery of material after indentation. The method of measuring hardness according to the image of the restored imprint (a method similar to classical microindentation) is implemented. The method of scratching is implemented, followed by obtaining image of the relief of the surface on the restored imprint. The method allows to determine the abrasion resistance and hardness of the material, adhesion and thickness of thin coatings.

Keywords: *hardness, indenter, relief, tribometry, sclerometry, indentation, scanning, probe, nanohardness tester, sensor.*

УДК 621.87.21

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-6

Диня В.І.

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

ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДІВ МЕХАНІЗМІВ ОДНОСТОРОННЬОЇ ДІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

В роботі приведені конструкції шліцьових з'єднань односторонньої дії з елементами кочення, що забезпечує менше зусилля осьового переміщення за рахунок використання тіл кочення і підвищення їх надійності та довговічності при експлуатації у сільськогосподарській, машинобудівній, переробній та інших галузях народного господарства. Приведено технічні вимоги на виготовлення шліцьового вала односторонньої дії, які включають параметри точності і якості поверхні, а також її фізико-механічні властивості в загальному будуть аналогічними до тих, що ставляться до валів шліцьових кулькових з'єднань. Виведені аналітичні залежності для визначення міцності і навантажувальної здатності. Результатом роботи є розроблення методики проектування механізмів односторонньої дії сільськогосподарських машин, технологічні передумови проектування приводних механізмів односторонньої дії сільськогосподарських машин. Спроектвані приводні механізми односторонньої дії машин різноманітного призначення з використанням пар тертя кочення.

Ключові слова: шліцьові з'єднання односторонньої дії, міцність і навантажувальна здатність.

Вступ. На даний час розвитку транспортуючих механізмів односторонньої дії сільськогосподарських машин бажає пошуку нових шляхів покращення технологічних й експлуатаційних параметрів робочих органів, розширення їх функціональних можливостей, що дають змогу підвищити продуктивність та покращити якість транспортних процесів з метою підвищення довговічності та надійності роботи механізмів. Тому, одним з перспективних напрямків підвищення продуктивності праці в агропромисловому комплексі (АПК), харчовій та переробній промисловості, виробництві абразивних матеріалів та інше є розширення технологічних можливостей транспортуючих пристроїв, які мають широке застосування у технологічних процесах механізованого завантаження сипких матеріалів, мінеральних добрив, насінного матеріалу та зібраних зернових культур є виготовлення робочих органів транспортуючих і змішувальних пристроїв у вигляді окремих секцій з шарнірно-ланцюговими ланками.

Найбільшого поширення трубчасті конвеєри набули в сільськогосподарському, транспортному і хімічному машинобудуванні, у верстатобудуванні, гірничорудному устаткуванні підйомно-транспортуючих пристроях та переробній галузі. Важливим питанням надійності роботи гнучкого трубчастого конвеєра (ГТК) є забезпечення надійності роботи їх приводів, які є односторонньої дії, які здійснюють передачі крутних моментів в одному напрямку, а в іншому його стопоріння. Ці приводи широко використовують у транспортерах, конвеєрах, мотоциклах, велосипедах, насосах, машинах сільськогосподарського та іншого застосування.

Важливим моментом при виробництві цих приводів є розроблення прогресивного технологічного процесу виготовлення привідних дисків, які мають складний профіль.

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Відомі теоретичні та експериментальні дослідження, які розглядаються в роботах Малащенко В.О. [1], Павлице В.Т. [2], Жолобов О.О., Мельничук П.П. [3], Гевко Б.М. [4] та інші показують, що використання механізмів односторонньої дії в технологічних процесах підвищують надійність та довговічність роботи машин.

Виклад основного матеріалу. Розглядаючи шліцьові з'єднання в аспекті розвитку їх функціональної здатності, слід відмітити, що тут основними напрямками розвитку є надання цим з'єднанням додаткових можливостей без втрати основного функціонального призначення. Прикладом цього є розроблення конструкцій кулькових шліцьових з'єднань, які забезпечують менше зусилля осьового переміщення за рахунок використання тіл кочення і підвищення їх надійності і експлуатаційної довговічності. Проте додаткові функціональні можливості часто

супроводжуються втратою навантажувальної здатності передачі при передачі крутного моменту.

Існує велика кількість вузлів, які за своїм функціональним призначенням повинні забезпечувати передачу крутного моменту лише в одному напрямку, а в іншому – забезпечувати стопоріння з'єднувальних елементів. Ці вузли використовуються в механізмах односторонньої дії, що широко використовуються в насосах, велосипедах, мотоциклах механізмах сільськогосподарських машин та інше.

Проте ці вузли є громіздкими за своєю конструкцією і складаються з значної кількості елементів, що робить їх не надто надійними і не чутливими.

Отже існує потреба у проектуванні і визначенні основних конструктивних параметрів передачі, яка б забезпечувала вище приведені технічні вимоги при невеликих габаритних розмірах і значній навантажувальній здатності з'єднання.

Такими властивостями володіє кулькове шліцьове з'єднання односторонньої дії (рис.1). Принцип дії цього з'єднання покладений в основу роботи обгінних муфт.

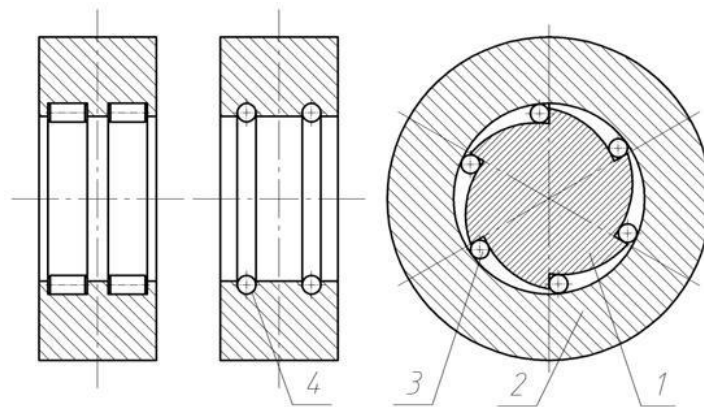


Рис. 1. Шліцьове з'єднання односторонньої дії з елементами кочення:[5]

1 – шліцьовий вал; 2 – втулка з внутрішнім циліндричним отвором;и 3 – кульки (ролики);
4 – бігова доріжка

Цей тип з'єднання передає крутний момент лише в напрямку збільшення виступів на валу. Бокова частина виступів вала взаємодіє з кульками попихаючи їх, таким чином, що величина зазору між валом і втулкою, в якому знаходяться кульки залишається незмінним.

При обертанні вала в зворотну сторону зазор між валом і втулкою зменшується і кульки затискаються в цьому просторі, заклинюючи елементи з'єднання.

Перевагою даного типу з'єднання є те, що профільна частина з'єднання знаходиться лише на валу, що значно полегшує технологію його виготовлення. Оскільки виготовлення внутрішніх профільних поверхонь високої точності вимагає значних матеріальних та трудових затрат.

Втулки шліцьового з'єднання односторонньої дії є досить простої конструкції, оскільки основним конструктивним їх елементом є бігова доріжка виконана у вигляді кільцевої канавки під кульки або ролики. Для забезпечення рівномірності роботи з'єднання бігових доріжок може бути дві або більше з рівномірним розміщенням вздовж осі втулки.

Крім цього використання кульок значно зменшує осьове зусилля необхідне на переміщення з'єднувальних елементів.

На кульки в цьому з'єднанні покладені дві важливі функції:

- стопоріння елементів з'єднання;
- зменшення зусилля осьового переміщення.

Можна зробити висновок про те, що кульки це саме той елемент, який сприйматиме основну частину навантаження. Відповідно, вони вийдуть з ладу швидше ніж вал чи втулка, що позитивно відіб'ється на ремонтпридатності з'єднання, оскільки вартість кульок є значно меншою.

Технічні вимоги на виготовлення шліцьового вала односторонньої дії, що включають параметри точності і якості поверхні, а також її фізико-механічні властивості в загальному будуть аналогічними до тих, що ставляться до валів шліцьових кулькових з'єднань.

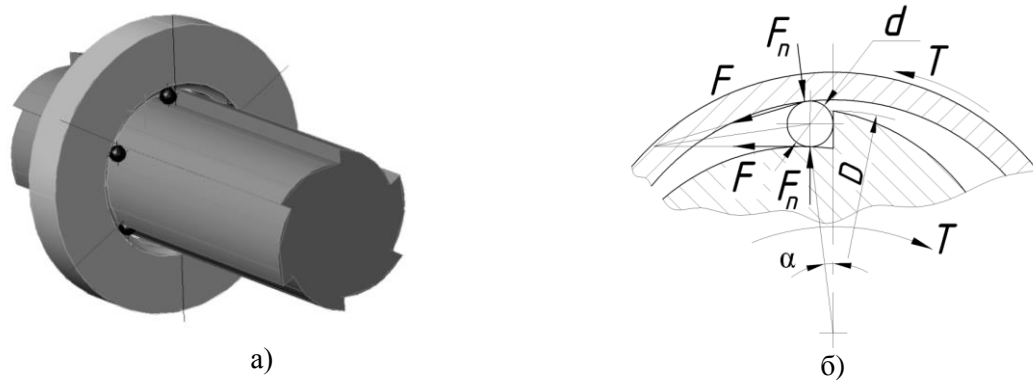


Рис. 2. Загальний вигляд кулькового шліцевого з'єднання а) односторонньої дії і його розрахункова схема б)

Однак вище згадане з'єднання володіє малою навантажувальною здатністю, оскільки контакт в даному випадку буде точковим, що характеризується незначною площею контакту, а отже і великими контактними напруженнями.

Умову рівноваги обидві записано у вигляді:

$$KT = F \frac{D}{2} z = F_n \frac{D}{2} z \operatorname{tg}(\alpha / 2), \quad (1)$$

де z – число роликів.

Міцність елементів кочення і робочих поверхонь вала і втулки розраховують по контактних напруженнях (при $\mu=0,3$):

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{F_n E_{np} / (l \rho_{np})} \leq [\sigma_H], \quad (2)$$

де F_n – нормальна сили

l – довжина ролика.

Сила F_n намагається виштовхнути ролик з пазів напрямку бісектриси кута α .

Для деталей виготовлених з однаковим модулем пружності $E_{np}=E$. У випадку плоскої поверхні деталі $\rho_{np}=d/2$.

Враховуючи, що при малих значеннях кута $\alpha \operatorname{tg}(\alpha/2) \approx \alpha/2$ вираз (1 і 2) набуде вигляду:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{8KTE / (Ddlz\alpha)} \leq [\sigma_H]. \quad (3)$$

Для збільшення навантажувальної здатності необхідно використовувати елементи, які б забезпечували значну площу контакту по бокових поверхнях одностороннього вала.

Прикладом використання механізмів односторонньої дії є шліцові муфти.

Висновки. На основі приведених досліджень розроблено технологічні передумови проектування приводних механізмів односторонньої дії сільськогосподарських машин та автоматизованій пристрій для заміру параметрів зовнішніх шліцевих поверхонь. [6]. Спроектвані приводні механізми односторонньої дії машин різного службового призначення з використанням пар тертя кочення (кульок і роликів). [7].

Інформаційні джерела

1. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Національний університет "Львівська політехніка", 2006. – 196 с.
2. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. Павлище В.Т. – К. Вища школа, 1993.–556с.
3. Технологія автоматизованого виробництва. О.О. Жолобов, В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський – Житомир: ЖДТУ, 2008 – 1014 с.

4. Гевко Б.М., Гевко І.Б., Радик Д.Л. Технологія сільськогосподарського машинобудування – Київ: Кондор, 2006. – 496с.
5. Диня В.І. Особливості конструкції приводів гнучких трубчастих конвеєрів. О.Я. Гурик, В.І. Диня, О.В. Олексин. Транспортні технології. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: зб.наук. праць. – Харків, 2011. – Вип. 111.– С. 104 - 111.
6. Диня В.І. Підвищення ефективності виготовлення деталей приводних механізмів машин односторонньої дії. Автореферат кандидата технічних наук. Тернопіль, 2012, ТНТУ імені Івана Пулюя с.20
7. Пат. 39752 Україна, МПК G 01 B 3/00. Автоматизований пристрій для заміру параметрів зовнішніх шліцьових поверхонь. Дзюра В.О., Диня В.І., Шевчук О.С., заявник і патентовласник Дзюра В.О., Диня В.І., Шевчук О.С., - №u200811981; заяв. 09.10.08; опубл. 10.03.09, Бюл. №5.

Dynja V.I.

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

DESIGN OF DRIVES OF MECHANISMS OF UNILATERAL ACTION OF AGRICULTURAL MACHINES

The paper presents the design of single-acting slotted joints with rolling elements, which provides less axial movement due to the use of rolling elements and increase their reliability and durability in operation in agriculture, engineering, processing and other sectors of the economy. The technical requirements for the manufacture of single-acting slotted shaft, which include the parameters of accuracy and quality of the surface, as well as its physical and mechanical properties in general will be similar to those relating to the shafts of splined ball joints. Analytical dependences for determination of durability and loading ability are deduced. The result of the work is the development of methods for designing mechanisms of unilateral action of agricultural machinery, technological prerequisites for designing drive mechanisms for unilateral action of agricultural machinery. The drive mechanisms of unilateral action of machines of various function with use of rolling friction pairs are designed.

Keywords: *single-sided slotted joints, strength and load capacity.*

Дыня В.И.

Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанский агротехнический институт»

ПРИВОД МЕХАНИЗМОВ ОДНОСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В работе приведены конструкции шлицевых соединений одностороннего действия с элементами качения, обеспечивает меньшее усилие осевого перемещения за счет использования тел качения и повышение их надежности и долговечности при эксплуатации в сельскохозяйственной, машиностроительной, перерабатывающей и других отраслях народного хозяйства. Приведены технические требования на изготовление шлицевого вала одностороннего действия, включающие параметры точности и качества поверхности, а также ее физико-механические свойства в общем будут аналогичными тем, что относятся к валов шлицевых шариковых соединений. Выведены аналитические зависимости для определения прочности и нагрузочной способности. Результатом работы является разработка методики проектирования механизмов одностороннего действия сельскохозяйственных машин, технологические предпосылки проектирования приводных механизмов одностороннего действия сельскохозяйственных машин. Спроектированы приводные механизмы одностороннего действия машин различного назначения с использованием пар трения качения.

Ключевые слова: *шлицевые соединения одностороннего действия, прочность и нагрузочная способность.*

УДК 621.87

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-7

Драган А.П.

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

ТЕХНОЛОГІЧНЕ СПОРЯДЖЕННЯ ДЛЯ НАВИВАННЯ ГВИНТОВИХ ГОФРОВАНИХ ЗАГОТОВОК З ЗАДАНИМ ПРОФІЛЕМ

В даній статті наведено зразки технологічного оснащення для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок з заданим профілем гофр. зокрема пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок циліндричними формуючими елементами і пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок конічними формуючими елементами. Розглянуто теоретичні основи процесу формоутворення гофрованих гвинтових заготовок. Визначено зусилля, яке необхідне для гнуття заготовки у вигляді стрічки між двома прямозубими колесами, косозубими колесами, та колесами спеціального профілю. На основі отриманих рівнянь побудовано графіки залежності сили гофроутворення від ширини стрічки.

Ключові слова: гвинтова гофрована заготовка, зусилля формоутворення.

Вступ. Гвинтові гофровані заготовки набули широкого застосування у змішувачах, теплообмінниках, машинах для борботажі, подрібнення, зволоження та ін. Підвищені вимоги до конструктивних і технологічних параметрів, якості, надійності та довговічності, розширення функціональних можливостей гвинтових гофрованих заготовок потребують глибокого аналізу існуючих технологій їх виготовлення та здійснення на цій основі науково обґрунтованих теоретичних та експериментальних напрацювань з метою успішного їх впровадження у виробництво.

Постановка проблеми. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені виробництву гвинтових гофрованих заготовок, рівень технологічного забезпечення в нашій державі та за її межами залишається недостатньо високим, а науково база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам за матеріало- та енергоємністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням, що пов'язані з процесом формоутворення гвинтових заготовок присвячені роботи ряду авторів [1, 2, 3], однак особливості формоутворення гофрованих гвинтових заготовок розглянуті недостатньо.

Мета статті. Розробка технологічного спорядження для ефективного технологічного процесу формоутворення гвинтових гофрованих заготовок, який забезпечив би точність, економічність та підвищення продуктивності праці.

Матеріал досліджень. Пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок циліндричними формуючими елементами зображено на рис. 1. Його виконано у вигляді ступінчастої оправи 1 із торцевим виступом 2, який виконано з кроком рівним товщині заготовки 3 з гофрами. Ступінчата оправа має осьовий паз 4 для закріплення кінця заготовки і привід обертання від шпинделя верстата. Притискування заготовки 3 до торцевого виступу 2 ступінчастої оправи 1 зверху здійснюється притискним роликом 5 з гофрованими поверхнями 6. Притискний ролик центральним отвором встановлений на вісь 7, яка паралельна осі ступінчастої оправи 1, з можливістю вільного обертання. З правої сторони ступінчата оправа 1 переходить в менший діаметр 8 на який навивається гвинтова гофрована заготовка 3, а вільний кінець ступінчастої оправи підтискується піноллю задньої бабки 9. Знизу під меншим діаметром 8 розміщений формуючий ролик 10, який виконано ступінчатим, верхня його ступиця виконана з гофрами по всій висоті, які є аналогічними з гофрами притискного ролика 5. Формуючий ролик 10 з можливістю вільного обертання встановлено на осі яка перпендикулярна до осі ступінчастої оправи 1 і лежить з нею в одній вертикальній площині, він торцевою поверхнею 11 більшої ступиці є в контакт з ребром заготовки і притискує її до торцевого виступу 2 ступінчастої оправи 1 знизу. Горизонтальне притискування заготовки 3 до ступінчастої оправи 1 здійснюється торцевою гофрованою поверхнею меншої ступиці формуючого ролика 10. Останній встановлено на підшипниковій втулці 12, яка вільно обертається на осі 13 закріпленій в кронштейні 14, який встановлений на супорті верстата 15 з можливістю переміщення паралельно осі ступінчастої оправи з подачею на оберт рівною товщині заготовки з гофрами. Для підвищення жорсткості пристрою формуючий ролик 10 спирається на кронштейн 14 через прокладку 16 і підшипник 17. Він закритий кожухом 18 для захисту механізму від забруднення.

Технологічний процес навивання гофрованих гвинтових заготовок здійснюється наступним чином.

Формуючий ролик 10 і притискний ролик 5 відводяться з зони формоутворення. Кінець заготовки 3 згинається під кутом 90° і вводиться в паз 4 де фіксується відомими способами. Після чого формуючий ролик 10 підтискує заготовку 3 до торцевого виступу 2 і меншого діаметра 8 і здійснюється навивання одного витка. Після цього притискний ролик 5 підводять до заготовки 3, включають верстат і здійснюють процес навивання гофрованих заготовок. Після завершення навивання гофрованої гвинтової заготовки 3 верстат зупиняють. Відводять піноль задньої бабки 9 вправо, а притискний 5 і формуючий 10 ролики теж відводять з зони формоутворення, відпускають кінець заготовки і знімають її з оправки.

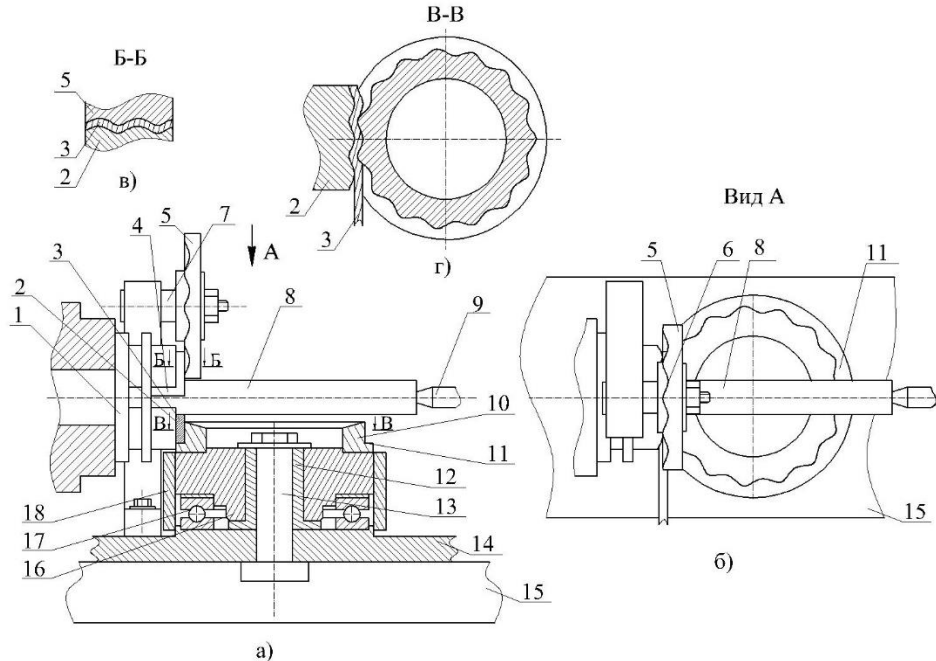


Рис. 1. Пристрій для виготовлення гвинтових гофрованих заготовок циліндричними формуючими елементами:
а) загальний вигляд; б) вид А; в) розріз Б-Б; г) розріз В-В

Навивання наступної заготовки здійснюється аналогічно.

До переваг запропонованого пристрою відноситься розширення технологічних можливостей і можливість навивання гофрованих гвинтових заготовок різних типорозмірів.

Пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок кінцевими формуючими елементами зображено на рис. 2. Його виконано у вигляді опори 1, на яку зверху встановлена формувальна основа 2, яка виконана круглої форми, на її верхній торцевій поверхні виконане зубчасте кінцеве зачеплення 3. Останнє взаємодіє з відповідним кінцевим зачепленням формувального валка 4 через товщину заготовки 5, яка формується. Вісь формувального валка 4 виконана під кутом α до горизонту рівним величині кута нахилу гофри до площини гвинтової заготовки. Формувальна основа і формувальний валок мають приводи, які не показані на кресленні і обертаються згідно вказаних стрілок. Крім цього формувальна основа 2 встановлена на опорі 1 з можливістю кругового обертання через тіла кочення 6. Ліва опора 7 формувального валка 4 встановлена в ексцентричну втулку 8 з ексцентриситетом (максимальна різниця товщин втулки в діаметральних напрямках) рівним максимально допустимій різниці товщин заготовок $t_1 < t_2$ з зовнішніми шліцами, яка через шліцеве з'єднання є у взаємодії з кронштейном 9, який жорстко закріплений до опори 1. Права опора 10 формувального валка 4 встановлена в отвір 11 в круглій головці стяжного болта 12, який жорстко встановлений в центральний отвір опори 1. На чотирьох сторонах головки стяжного болта 12 виконані отвори під праву опору 10 на різній висоті з врахуванням товщини заготовки при формуванні гофр. Стяжний болт 12 в отворі формувальної основи в разі потреби можна фіксувати від можливого провертання відомими способами за допомогою шпоночного або шліцевого з'єднань з затягуванням гайки 13, а висоту головки стяжного болта 12 можна регулювати встановленням шайб 14 необхідної товщини.

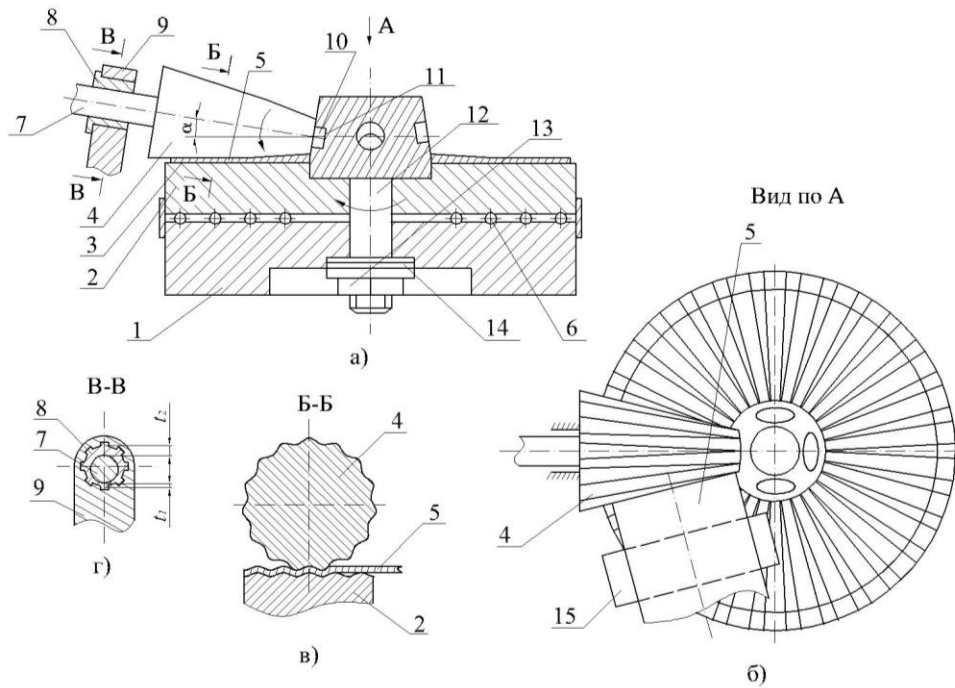


Рис. 2. Пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок кінцевими формуючими елементами:
а) загальний вигляд; б) вид А; в) розріз Б-Б; г) розріз В-В

Регулювання правильної подачі полоси 5 в зону формоутворення гофрованої гвинтової заготовки здійснюється за допомогою механізму подачі 15 який можна регулювати як для різних параметрів заготовки так і для правильного направлення в зону формоутворення.

Робота пристрою для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок здійснюється після настроювання пристрою на роботу з заготовками певної ширини і товщини. Для цього механізм подачі встановлюють з врахуванням цих параметрів, а регулювання величини зазору між формувальним валком і формувальною основою здійснюють встановленням правої опори формувального валка у відповідний отвір з чотирьох можливих.

Після цих підготовчих операцій вмикають привід і формувальна основа 2 і формувальний валок 4 обертаються у відповідному напрямку. Заготовку 5 через механізм подачі 15 подають в зону їх зачеплення. При цьому при формуванні гофр заготовка 5 скручується у гвинтову спіраль з кроком більшим максимального діаметра формувального валка 4. Після завершення навивання партії однотипних гвинтових гофрованих заготовок пристрій зупиняють, і в разі потреби переобладнують його на виготовлення нового типу заготовок.

До переваг пристрою відносять простоту конструкції і високу продуктивність праці. Розглянемо процес утворення гофрованих заготовок прямозубими колесами (рис. 3).

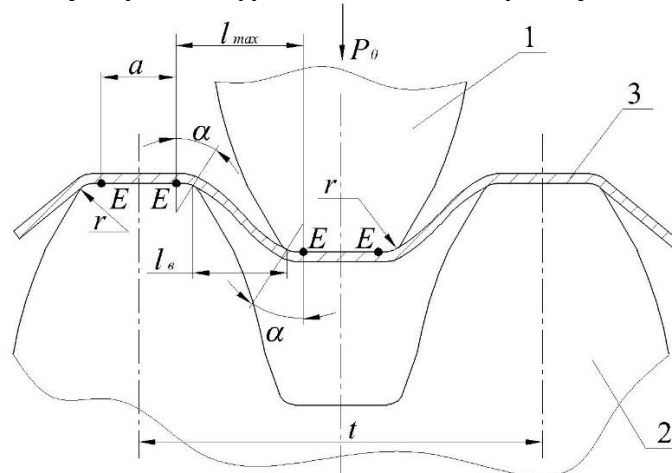


Рис. 3. Розрахункова схема гофроутворення
1 – зуб верхнього колеса; 2 – зуб нижнього колеса; 3 – стрічка

Визначимо зусилля P_0 , яке необхідне для гнуття заготовки у вигляді стрічки між двома прямозубими колесами.

Розглянемо цей випадок, як балку, що загинається навколо робочих кромek зубів в чотирьох точках E з радіусом згину r .

Із умови рівності згинних моментів зовнішніх і внутрішніх сил можна вивести рівняння [3]:

$$M = P_0 \cdot l_B = 4W(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b = \frac{4bS^2}{6}(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b, \quad (1)$$

де W - момент опору гнуттю;

ε_b - відносне видовження даного матеріалу в момент початку утворення шийки;

σ_b - тимчасовий опір розриву;

b - ширина стрічки;

S - товщина стрічки;

l_e - величина плеча, яке змінюється по мірі опускання зуба у впадину, визначається із геометричних співвідношень.

$$l_e = \frac{t}{2} - a - 2r \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

де t - крок зубів;

a - величина прямолінійної ділянки зуба;

r - радіус заокруглення при вершині зубів;

α - кут гнуття, що утворюється в результаті переміщення крайньої точки контакту матеріалу із заокругленнями зубів.

Тоді:

$$P_0 = \frac{4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t}{2} - a - 2r \cdot \sin \alpha\right)}. \quad (3)$$

Оскільки, крім зусилля, потрібного для гнуття, доводиться також долати силу тертя між поверхнею деталі і робочими кромками зубів при переміщенні заготовки, то дійсне зусилля P буде завжди більшим на величину сили тертя F_{mp} , яку при коефіцієнті тертя $\mu = 0,3$ можна прийняти з деяким запасом:

$$P = P_0 + F_{mp} = 1,3P_0. \quad (4)$$

Найменше зусилля гофроутворення буде при горизонтальному положенні стрічки на початку гнуття при $l_{\max} = \frac{t}{2} - a$, найбільше в кінці, коли $\alpha \rightarrow 90^\circ$. Для цього випадку

$$P = 1,3P_0 = \frac{1,3 \cdot 4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t}{2} - a - 2r\right)}. \quad (5)$$

Аналізуючи процес формоутворення гофр між двома конічними зубчастими колесами, встановлено, що згідно (2) плече l_e буде змінюватися рівномірно вздовж всієї ширини заготовки.

Звідси, сила гофроутворення на більшому радіусі гнуття буде меншою ніж на меншому радіусі гнуття.

Крім цього, внаслідок виникнення різниці напружень по ширині стрічки, утворюється гофрована спіралевидна поверхня.

Зусилля, що необхідне для гофрування двома конічними зубчастими колесами P_{cp} , визначаємо як середнє значення зусиль гнуття по більшому і по меншому радіусах з врахуванням сили тертя на переміщення заготовки.

$$P_{cp} = 1,3 \frac{P_3 + P_B}{2}. \quad (6)$$

Згідно (3)

$$P_3 = \frac{4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t}{2} - a_3 - 2r_3 \cdot \sin \alpha\right)}; \quad (7)$$

$$P_B = \frac{4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t_B}{2} - a_B - 2r_B \cdot \sin \alpha\right)}, \quad (8)$$

де P_3 і P_B - відповідно зусилля гофроутворення по більшому і по меншому радіусах.

t_3 і t_B - відповідно крок зубів на зовнішньому і на внутрішньому діаметрах конічних зубчастих коліс;

a_3 і a_B - відповідно величини прямолінійних ділянок зубів на зовнішньому і на внутрішньому діаметрах конічних зубчастих коліс;

r_3 і r_B - відповідно радіуси заокруглення при вершинах зубів на зовнішньому і на внутрішньому діаметрах конічних зубчастих коліс.

Крім вищезгаданих способів утворення гофр можна використовувати прямі і конічні колеса із зубами, що відповідають профілю утворюваної гофри. Перевагою цього методу над попередніми є те, що утворюються криволінійні ділянки при гнутті.

Зусилля гофроутворення колесами із спеціальними зубами P_0 визначаємо аналогічно до зусиль при використанні модульних зубчастих коліс. Змінюється лише значення плеча l_0 :

$$l_0 = \frac{t}{2} - 2r_3 \sin \alpha. \quad (9)$$

Для прямозубих коліс:

$$P_{0np} = \frac{1,3 \cdot 4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t}{2} - 2r_3 \cdot \sin \alpha\right)}. \quad (10)$$

Для конічних коліс:

$$P_{cp} = 1,3 \frac{F_3 + F_B}{2}, \quad P_3 = \frac{4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t_3}{2} - 2r_{33} \cdot \sin \alpha\right)}, \quad P_B = \frac{4bS^2(1,5 + \varepsilon_b)\sigma_b}{6\left(\frac{t_B}{2} - 2r_{3B} \cdot \sin \alpha\right)}. \quad (11)$$

На основі рівнянь (10-11) побудовано графіки (рис. 4) сили гофроутворення в залежності від ширини стрічки.

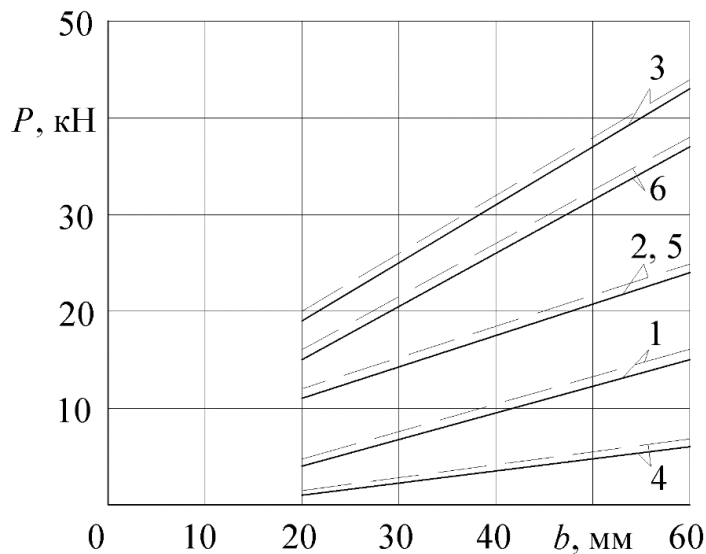


Рис. 4. Залежність сили гофроутворення від ширини стрічки $t=20$ мм; $\alpha=70^\circ$:

сталь 08кп – 1) $S=1$ мм; 2) $S=1,5$ мм; 3) $S=2$ мм;

алюміній Д16М – 4) $S=1$ мм; 5) $S=2$ мм; 6) $S=2,5$ мм;

----- прями колеса ————— конічні колеса

Висновки. Під час проведення досліджень з удосконалення технологічного процесу формоутворення гвинтових гофрованих заготовок було отримано наступні основні результати:

–розроблено пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок циліндричними формуючими елементами. До переваг даного пристрою відноситься розширення технологічних можливостей і можливість навивання гофрованих гвинтових заготовок різних типорозмірів;

–розроблено пристрій для виготовлення гофрованих гвинтових заготовок конічними формуючими елементами. До переваг пристрою відносять простоту конструкції і високу продуктивність праці;

–отримано вирази для знаходження зусилля гофроутворення для різних способів отримання гофр.

Інформаційні джерела:

1. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Драган А.П., Новосад І.Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей. - Тернопіль: СМП "Тайп. - 2008. - 367 с.

2. Гевко Б.М. Технологические основы выбора конструктивных параметров шнеков // Изв. вузов. Машиностроение, 1982. - № 5. - С. 148 – 151.

3. Ляшук О.Л. Технологічне забезпечення виготовлення деталей типу "тіл обертання" з профільного прокату. Арэф. дис. к.т.н. 05.02.08. Технологія машинобудування, Тернопіль 2006р., 20с.

Драган А.П.

ОП НУБиП України «Бережанский агротехнический институт»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СНАРЯЖЕНИЕ ДЛЯ НАВИВКИ ВИНТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК С ЗАДАННЫМ ПРОФИЛЕМ

В данной статье приведены образцы технологической оснастки для изготовления винтовых гофрированных заготовок с заданным профилем гофр. В частности устройство для изготовления гофрированных винтовых заготовок цилиндрическими формирующими элементами и устройство для изготовления гофрированных винтовых заготовок коническими формирующими элементами. Рассмотрены теоретические основы процесса формообразования гофрированных винтовых заготовок. Определены усилия, которое необходимо для гибки заготовки в виде ленты между двумя прямозубыми колесами, косозубыми колесами, и колесами специального профиля. На основе полученных уравнений построены графики зависимости силы гофрообразования от ширины ленты.

Ключевые слова: винтовая гофрированная заготовка, усилия формообразования.

Drahan A.P.

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany agrotechnical institute»

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR WRAPPING CORRUGATED SCREW BLOCKS WITH A GIVEN PROFILE

This article presents samples of technological equipment for the manufacture of corrugated screw blanks with a given corrugation profile. in particular a device for the manufacture of corrugated screw blanks with straight-toothed forming elements and a device for the manufacture of corrugated screw blanks with helical forming elements. The theoretical bases of the process of forming corrugated screw blanks are considered. The effort required for bending the workpiece in the form of a tape between two spur gears, helical gears, and wheels of special profile is determined. Based on the obtained equations, graphs of the dependence of the corrugation force on the width of the tape are constructed.

Key words: Screw corrugated blank, shaping efforts.

УДК 631.356.22

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-8

Дубчак Н.А., Семенів І.І., Носко В.Л.

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ ВОРОХУ КОРЕНЕПЛОДІВ

Анотація. У статті наведено одержані результати проведених польових експериментальних випробувань модернізованої коренезбиральної машини МКК-6, яку обладнано комбінованою системою для очистки кормових буряків від різного роду забруднень при їх збиранні. На основі експериментальних результатів виведено рівняння регресії, які характеризують зміну загальної забрудненості вороху коренеплодів різними домішками та побудовано графічні залежності загальної забрудненості вороху кормових буряків, пошкодження коренеплодів, забрудненості коренеплодів рослинними рештками і кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів залежно від зміни кутової швидкості обертання гвинта та діаметра очисних пружних елементів. При аналізі залежностей виявлено, що загальна забрудненість вороху коренеплодів залежно від кутової швидкості обертання гвинта змінюється за параболічною функцією, яка має яскраво виражений оптимум. Також зв'язано, що основним фактором, який впливає на кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів є діаметр очисних пружних елементів. При його збільшенні кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів значно зменшується при всіх значеннях кутової швидкості обертання гвинта.

Ключові слова: сепаруючий робочий орган, транспортно-технологічна система, коренеплоди, ворох, коренезбиральна машина, гвинт, кутова швидкість, очисний елемент.

Вступ. Аналіз використання розроблених в останні роки в Україні і за кордоном сепаруючих робочих органів транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин у різних ґрунтово-кліматичних умовах та зонах показує, що задовільна якість очищення коренеплодів кормових буряків від домішок може бути одержана лише в оптимальних умовах збирання, тобто при необхідній вологості ґрунту, задовільній забур'яненості посівів і використанні конкретної для даної культури конструктивно-технологічної схеми сепаруючого робочого органа. Якщо ж цих умов не буде дотримано при збиранні, то в протилежному випадку пошкодження коренеплодів, забрудненість вороху будуть мати певні коливання [1]. Ефективність і якість роботи машин у значній мірі залежить від конструктивно-компонувальної схеми та процесу роботи робочих органів очисників вороху, які повинні відокремити із складу поступаючого вороху не менше 92 % домішок за вихідними вимогами до коренезбиральних машин, при цьому допустимі пошкодження не повинні перевищувати межу 15 % [2].

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Головним загальним недоліком роботи очисних систем вороху кормових буряків у важких умовах збирання є те, що очищення коренеплодів від домішок відбувається в одному технологічному потоці, коли коренеплоди і домішки пересуваються по поверхні сепарувальних робочих органів у одному повздовжньому або поперечному напрямках, що значно утруднює процес відокремлення домішок від коренеплодів [3, 4]. Нами створена комбінована очисна система вороху коренеплодів, конструктивно-технологічна схема та принцип роботи якої наведено у праці [5].

Мета досліджень. Метою даних досліджень є підвищення ефективності сепарації домішок вороху коренеплодів кормових буряків шляхом удосконалення очисної системи коренезбиральної машини.

Виклад основного матеріалу. Виробничі випробування та експериментальні дослідження модернізованої коренезбиральної машини МКК-6 (рис. 1), яку було обладнано очисною системою вороху [4], проведено в дослідному господарстві Українського центру випробування техніки Київської області при збиранні кормових буряків сорту "Екендорфський". Основні конструктивно-технологічні параметри очисної системи при проведенні випробувань були наступні: кутова швидкість обертання гвинта 12,5 рад/с; діаметр гвинта - 0,6 м; крок гвинта - 0,5 м; висота витка гвинта - 0,25 м; кутова швидкість відминальних вальців - 40 рад/с; діаметр відминальних вальців - 0,12 м; діаметр очисних елементів 4 мм, поступальна швидкість руху полотна гірки - 1,3 м/с. При проведенні

експериментальних досліджень куту швидкість обертання гвинта змінювали в межах 9,5...15,5 рад/с, а діаметр очисних елементів – у межах 2...6мм. Інші показники технічної характеристики коренезбиральної машини МКК-6 відповідали заводським параметрам. Характеристика ділянки поля, на якій проведено випробування, така: тип ґрунту - чорнозем середньогумусний, середньо-суглинковий, щільність ґрунту в шарі 0...10 см - 1,3 мПа, вологість ґрунту в шарі 0...10 см - 17,7%, урожайність коренеплодів - 95,8 т/га, маса бур'янів з 1 м² - 0,15 кг.

Показники якості роботи коренезбиральної машини визначали відповідно до "Програми і методики проведення випробувань машин для збирання кормових бур'яків", яку розроблено і затверджено спільно ІМЕСГ, УкрЦВТ і ДСКБ КВП "Дніпропетровський комбайновий завод" в

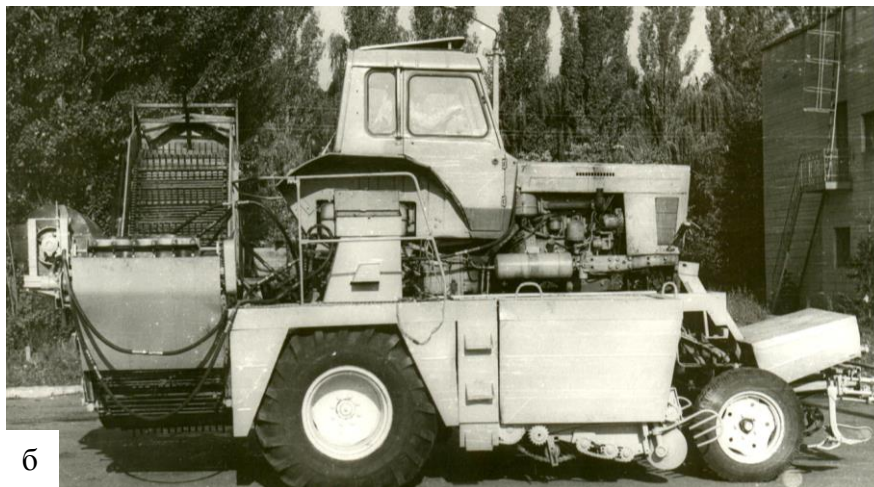


Рис.1. Загальний вигляд модернізованої коренезбиральної машини МКК-6:
а – вигляд ззаду; б – вигляд збоку

1987 році на базі галузевого стандарту ГОСТ 70. 8. 6-83.

Було одержано рівняння регресії відповідно в кодованих і натуральних величинах, які характеризують зміну:

- загальної забрудненості вороху коренеплодів рослинними домішками:

$$Z_k = 21,9 - 1,5x_1 - 2,9x_2 + 0,2x_2^2; \quad (1)$$

$$Z_k = 34,9 - 0,4\omega - 1,8d + 0,1d^2; \quad (2)$$

- загальних пошкоджень коренеплодів:

$$P_k = 6,5 - 0,8x_1 + 0,1x_2 + 0,07x_1^2; \quad (3)$$

$$P_k = 10,4 - 0,4\omega + 0,08d + 0,01\omega^2; \quad (4)$$

- забрудненості коренеплодів рослинними домішками:

$$Z_p = 12,6 - 0,6x_1 - 1,9x_2 + 0,1x_2^2; \quad (5)$$

$$Z_p = 19,5 - 0,3\omega - 1,0d + 0,02d^2; \quad (6)$$

- кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів

$$m_p = 1,6 - 0,7x_1 - 0,9x_2 + 0,3x_2^2; \quad (7)$$

$$m_p = 1,5 - 0,4\omega - 0,08d + 0,06d^2. \quad (8)$$

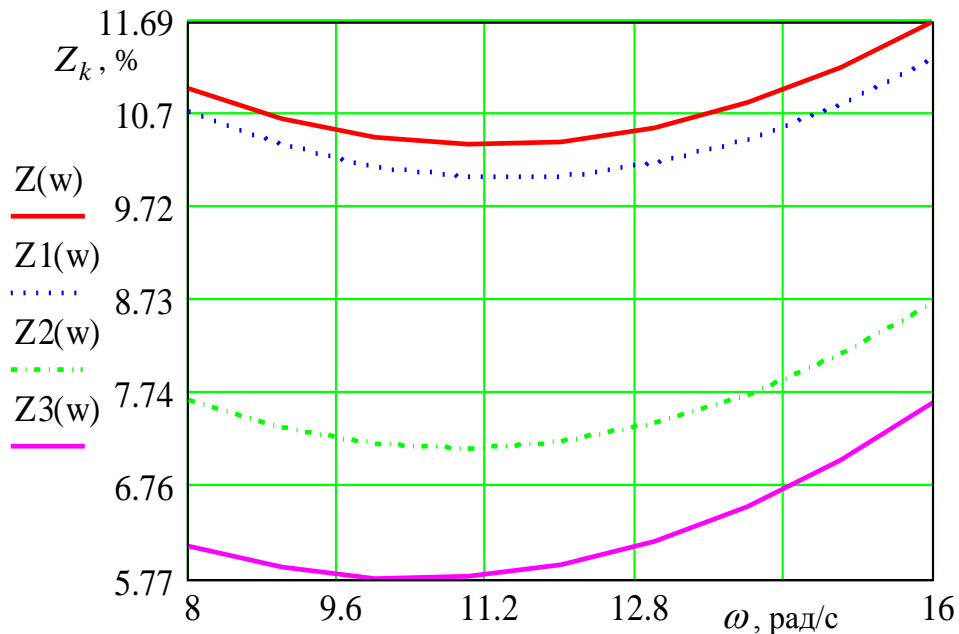


Рис. 2. Залежності загальної забрудненості вороху коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта : $Z(w)$ - без очисних елементів, $Z1(w)$, $Z2(w)$ і $Z3(w)$ – відповідно для діаметра очисних елементів 2,0; 4,0 і 6,0 мм

На рис. 2, 3, 4, 5 наведено відповідно залежності загальної забрудненості вороху коренеплодів, загальних пошкоджень коренеплодів, забрудненості коренеплодів рослинними домішками і кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів залежно від зміни кутової швидкості обертання гвинта та діаметра очисних пружних елементів.

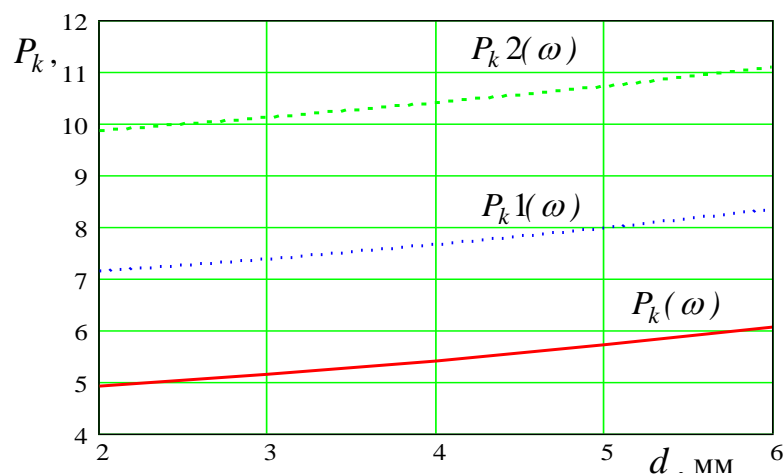


Рис.3. Залежності загальних пошкоджень коренеплодів від діаметра очисних елементів: $P_k(\omega)$, $P_{k1}(\omega)$ і $P_{k2}(\omega)$ – при кутовій швидкості обертання ω

Залежно від збільшення кутової швидкості гвинта загальна забрудненість вороху коренеплодів (рис. 2) також збільшується – при $\omega = 9,2$ і $15,8$ рад/с для $d = 4,0$ мм забрудненість становить 6,9 і 8,6 % відповідно (криві $Z(\omega)$ і $Z_2(\omega)$), тобто загальна забрудненість вороху збільшується в 1,2 рази.

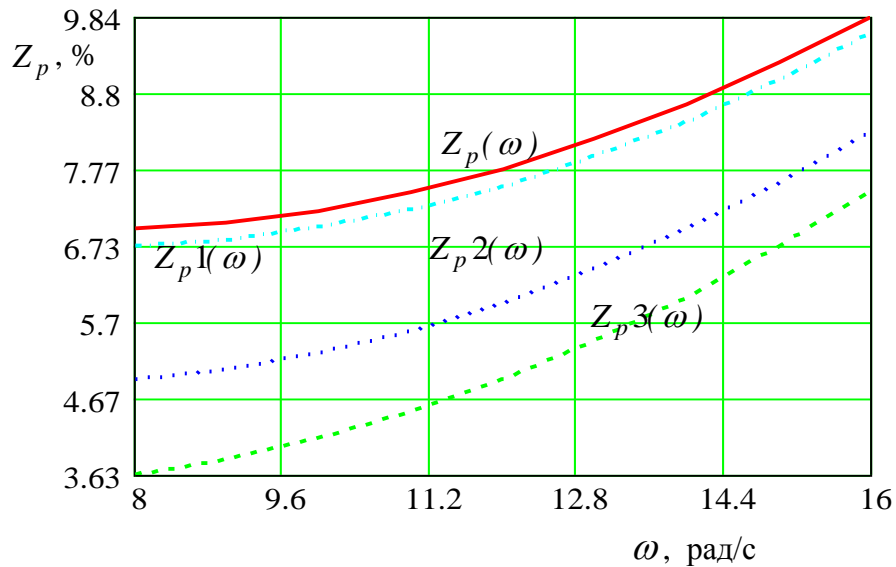


Рис. 4. Залежності забрудненості вороху рослинними домішками від кутової швидкості обертання гвинта ω : $Z_p 1(\omega)$, $Z_p 2(\omega)$ і $Z_p 3(\omega)$ – відповідно для $d = 2,0; 4,0$ і $6,0$ мм

Аналіз залежностей $Z_1(\omega)$, $Z_2(\omega)$ і $Z_3(\omega)$ показує, що загальна забрудненість вороху коренеплодів залежно від кутової швидкості обертання гвинта змінюється за параболічною функцією, яка має яскраво виражений оптимум – мінімальні значення функції відгуку знаходяться в діапазоні зміни кутової швидкості обертання гвинта $9,6 < \omega < 11,2$ (рад/с) та відповідно дорівнюють 5,7; 7,2 і 10,1 % для відповідних діаметрів очисних пружних елементів

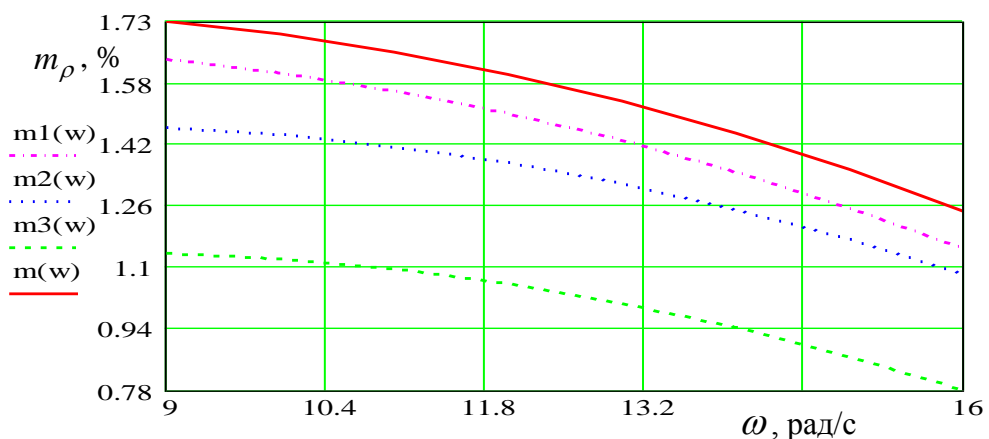


Рис. 5. Залежності кількості налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів від зміни кутової швидкості обертання гвинта: $m(\omega)$ – без очисних елементів; $m_1(\omega)$, $m_2(\omega)$ і $m_3(\omega)$ – відповідно для діаметра очисних елементів 2,0; 4,0 і 6,0 мм

$d = 6,0; 4,0$ і $2,0$ мм.

Порівняльний аналіз наведеної залежності $Z(w)$ з залежностями $Z_1(w)$, $Z_2(w)$ і $Z_3(w)$ показує, що встановлення на барабані гвинта очисних пружних елементів зменшує загальну забрудненість вороху в 1,4-1,9 рази, а значне зменшення спостерігається при значенні $d \geq 4$ мм.

Аналізуючи залежності рис. 3, можна зробити висновок, що домінуючим фактором, який значно впливає на зміну параметра оптимізації, є кутова швидкість обертання гвинта ω - із її збільшенням загальні пошкодження зростають від 5,2 %, $\omega = 9,6$ рад/с до 11,1 % при значенні кутової швидкості обертання гвинта $\omega = 15,8$ рад/с, тобто пошкодження збільшуються у середньому у 2,1 рази. Характер впливу діаметра очисних елементів d на зміну загальних пошкоджень коренеплодів незначний: так, для значення $\omega = 12,5$ рад/с пошкодження становлять 7,6 і 8,3 % (криві $P_k(\omega)$, $P_k1(\omega)$) при відповідних значеннях $d = 4$ і 6 мм, тобто приріст пошкоджень складає у середньому 0,7 %.

При встановленій кутовій швидкості обертання гвинта $\omega = 12,5$ рад/с забрудненість вороху рослинними домішками становить 8,1 і 4,6 % відповідно для $d = 4$ і 6 мм, (рис. 4, криві $Z_p2(\omega)$ і $Z_p3(\omega)$), тобто зі збільшенням діаметра очисних елементів Z_p зменшується у 1,8 рази.

Аналіз рис. 5 показує, що основним фактором, який впливає на кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів, є діаметр очисних пружних елементів d - з його збільшенням кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів значно зменшується при всіх значеннях кутової швидкості обертання гвинта ω , значний вплив якої на параметр оптимізації спостерігається при $\omega \geq 12,5$ рад/с. Так, при значенні $\omega = 9,2$ і 12,5 рад/с маса налиплого ґрунту становить 1,8 і 1,7% для $d = 2,0$ мм, тобто зменшення кількості налиплого ґрунту незначне і становить 0,1 % (криві $m1(w)$ і $m2(w)$), а при $\omega = 15,8$ рад/с маса налиплого ґрунту - 1,4 %, тобто зменшується у середньому на 0,35 %. При значенні $d = 6,0$ мм кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів порівняно з $d = 2,0$ мм зменшується приблизно в 1,5-1,8 рази.

Результати випробування коренезбиральної машини подано в таблиці згідно з протоколом випробувань.

Таблиця 1

Показники якості роботи коренезбиральної машини

Показники	Значення показників	
	Коренезбиральна машина	За ТЗ (ВВ)
Робоча швидкість руху машини, м/с	1,6	1,6
Якість підкопування і підбирання коренеплодів, %:		
зібрано машиною	99,2	
втрати	0,8	1,5
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:		
коренеплодів	97,5	
домішок, всього:	2,5	8,0
в тому числі:		
землі	0,6	
рослинних домішок	1,4	3,0
землі на коренеплодах	0,4	
гички на головках коренеплодів	0,1	
Пошкодження коренеплодів, %		
сильнопошкоджених	4,5	8,0
слабопошкоджених	4,3	7,0

Аналіз таблиці показує, що якість роботи коренезбиральної машини задовольняє вихідні вимоги, ефективність збирання і показники якості роботи задовільні: кількість пошкоджених коренеплодів складає 8,8 %, що у 1,8 рази нижче допустимих норм, а загальна кількість домішок в зібраному воросі дорівнює 2,5 % при допустимому значенні 8,0 % згідно з вихідними вимогами. Крім того, застосування відминальних вальців дозволило зменшити кількість

залишків гички на головках коренеплодів до 0,1 % проти 3,0 % згідно з вихідними вимогами, що у 1,5 рази менше допустимих норм.

Показники якості роботи коренезбиральної машини при польових випробуваннях визначені до загальної маси зібраних коренеплодів.

Висновок

Таким чином, за рахунок встановлення гвинтового конвеєра з очисними пружними елементами і очисної пальчикової гірки, відбувається додаткова інтенсифікація процесу відокремлення домішок від коренеплодів за рахунок динамічної взаємодії очисних пружних елементів із налиплим ґрунтом, при цьому кількість налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів зменшується приблизно в 1,5-1,8 рази.

Польові випробування коренезбиральної машини, яку обладнано очисною системою, показали задовільні результати її роботи, при цьому основні показники агротехнічної оцінки не перевищують межу вихідних вимог.

Інформаційні джерела

1. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорельй, М.В. Татьяна. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.

2. Барановський В.М., Паньків М.Р. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин // Зб. наук. праць 1-ої міжн. наук.-практ. конф. "Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин". - ТДТУ, 2004. – С. 192-198.

3. Гандзюк М.О., Осуховський В.М., Ткаченко І.Г., Гевко Р.Б. Результати випробувань модернізованої коренезбиральної машини КС-6Б // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 7. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2000. – С. 25-30.

4. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktorenauf die Köpfgualitätvon Zuckerrüben. – Inang. – Diss. – Bonn, 1990. – 153 s.

5. Паньків М.Р., Дубчак Н.А., Барановський В.М. Очисна система вороху коренеплодів // Вісник ХНТУСГ. – Вип. 59. "Механізація сільськогосподарського виробництва". – Том 1. – Харків, 2007. – С. 33-36.

Dubchak N.A., Semeniv I.I., Nosko V.L.

SE RULES of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CLEANSING SYSTEM TO LOTS OF ROOT CROPS

Abstract. *The article presents the results of field experimental tests of the modernized root-harvesting machine MKK-6, which is equipped with a combined system for cleaning fodder beets from various contaminants during their harvesting. Based on experimental results, regression equations are derived, which characterize the change of total contamination of heap of root crops with different impurities and graphical dependences of total contamination of heap of fodder beets, root damage, contamination of root crops with plant remains the diameter of the cleaning elastic elements. When analyzing the dependences, it was found that the total contamination of the heap of roots, depending on the angular velocity of rotation of the screw varies according to the parabolic function, which has a pronounced optimum. It is also reported that the main factor that affects the amount of sticky soil on the surface of the body of roots is the diameter of the cleaning elastic elements. With its increase, the amount of sticky soil on the body surface of the roots decreases significantly at all values of the angular velocity of rotation of the screw.*

Key words: *separating working body, transport-technological system, root crops, heap, root-harvesting machine, screw, angular velocity, cleaning element.*

Дубчак Н.А., Семенів І.І., Носко В.Л.

ОП НУБиП України «Бережанский агротехнический институт»

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЧИСТНОЙ СИСТЕМЫ ВОРОХА КОРНЕПЛОДОВ

Аннотация. *В статье приведены полученные результаты проведенных полевых экспериментальных испытаний модернизированной корнесобиральной машины МКК-6,*

которую оборудовано комбинированной системой для очистки кормовой свеклы от разного рода загрязнений при их уборке. На основе экспериментальных результатов выведено уравнение регрессии, характеризующие изменение общей загрязненности вороха корнеплодов различными примесями и построено графические зависимости общей загрязненности вороха кормовой свеклы, поврежденных корнеплодов, загрязненности корнеплодов растительными остатками и количества налипшего грунта на поверхности тела корнеплодов в зависимости от изменения угловой скорости вращения винта и диаметра очистных упругих элементов. При анализе зависимостей выявлено, что общая загрязненность вороха корнеплодов в зависимости от угловой скорости вращения винта изменяется по параболической функции, которая имеет ярко выраженный оптимум. Также определено, что основным фактором, который влияет на количество налипшего грунта на поверхности тела корнеплодов является диаметр очистных упругих элементов. При его увеличении количество налипшего грунта на поверхности тела корнеплодов значительно уменьшается при всех значениях угловой скорости вращения винта.

Ключевые слова: сепарирующий рабочий орган, транспортно-технологическая система, корнеплоды, ворох, корнеуборочная машина, винт, угловая скорость, очистительный элемент.

УДК 629.43

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-9

Захарчук В.І., Сітовський О.П., Захарчук О.В.

Луцький національний технічний університет

КОМПЛЕКС ПРИЛАДІВ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПІД ЧАС РУХУ

Для перевірки адекватності математичної моделі руху транспортного засобу за їздовим циклом є потреба в комплексі приладів для реєстрації його параметрів під час руху. В якості таких параметрів колісного трактора з газовим двигуном обрано частоту обертання колінчастого вала, розрідження у впускному колекторі, кут відкриття дросельних заслінок, швидкість руху. Розроблено апаратну частину комплексу: підібрано датчики, вибрано аналого-цифровий перетворювач (АЦП), ноутбук для опрацювання інформації, здійснено підключення датчиків до АЦП, а АЦП до ноутбука. Підібрано програму для моніторингу та запису сигналів датчиків на ноутбук. Розроблено програму для остаточної обробки отриманих даних — перетворення сигналів датчиків у величини досліджуваних параметрів. Комплекс приладів змонтований на колісному тракторі МТЗ-80 з переобладнанням з дизеля газовим двигуном. Здійснено декілька записів вибраних параметрів у дорожніх умовах.

Ключові слова: *двигун, трактор, датчик, програма, перетворювач, сигнал.*

Вступ. У зв'язку з вичерпністю покладів нафти на нашій планеті постає проблема пошуку альтернативних нафтопродуктам джерел енергії для автотракторної техніки. Одним з таких джерел може бути газ (природний газ – метан, або нафтовий газ– пропан-бутан). На даний широко використовується переобладнання бензинових двигунів на газові. Однак враховуючи значну частку автомобілів з дизелями постає потреба у переобладнанні дизелів на газове паливо. Це дозволить зменшити витрати на пальне, оскільки газ є дешевшим за дизельне паливо і викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Питанням переобладнання дизельних двигунів для роботи на газі займаються провідні світові автомобільні заводи, науково-дослідні інститути, а також виші навчальні заклади, у яких є спеціальності з автомобільним спрямуванням. Так свої розробки в даній сфері автомобільних технологій мають такі світові гіганти автомобілебудування, як Nissan, MAN, Daimler AG (колишня назва — Daimler-Benz AG) тощо. Серед наукових закладів розробкою цього питання займаються Науково-дослідний автомобільний інститут м. Дельфт (Нідерланди), Московський автодорожний інститут (Росія), Харківський національний автомобільно-дорожний університет та багато інших. Зокрема, в науково-дослідному автомобільному інституті, що в місті Дельфт (Нідерланди) було переобладнано дизель з турбокомпресором міського автобуса „Orion V[1]. В роботі [2] розглядається розробка фірми NISSAN - газовий двигун на базі рядного шестициліндрового дизеля. Конвертацією дизелів займалися німецькі фірми MAN та „Даймлер Бенц”. В першому випадку ступінь стиску зменшили з 18 до 14 одиниць, що призвело до зменшення потужності з 117,6 до 95,6 кВт. В другому випадку дизель і його газовий аналог розвивали потужність 126 кВт і відповідно крутні моменти 600 і 640 Нм [3]. У всіх випадках відмічалось зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. В МАДИ (Росія) створено газові двигуни на базі дизелів КамАЗ. Створено газовий двигун без наддуву, який як і базовий дизель розвивав потужність 143 кВт при 2200 об/хв [4].

Вирішенням проблеми переобладнання дизеля для роботи на природному газі займаються і в нашому університеті. Так на кафедрі автомобілів та транспортних технологій Луцького національного технічного університету було проведено дослідження можливості переобладнання дизеля в газовий без суттєвих змін в конструкції базового двигуна [5]. В результаті був створений дослідний зразок переобладнаного з дизеля двигуна, що працює на стиснутому газі.

При попередньому розрахунку параметрів транспортного засобу з таким двигуном використовувалася математична модель, яка дозволяє визначити витрату палива та викиди основних шкідливих речовин за їздовий цикл. Для перевірки її адекватності було вирішено створити спеціальний програмно-апаратний комплекс, який давав би можливість вимірювати

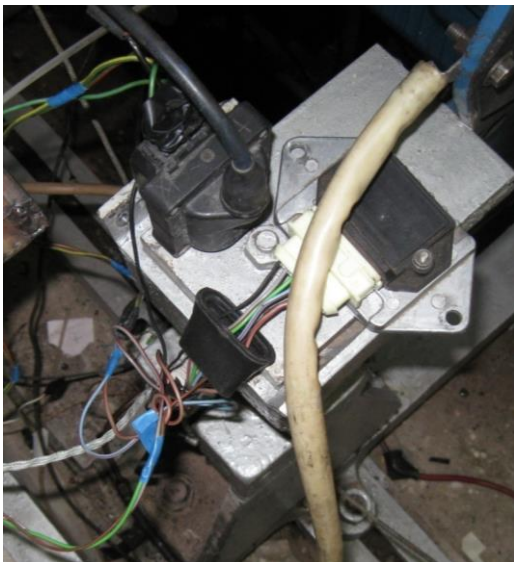
параметри дослідного зразка в режимі реального часу під час руху на змінних режимах в їздовому циклі, записувати отримані дані та робити їх остаточну обробку.

Основними параметрами, які описують роботу транспортного засобу та його двигуна, є частота обертання колінчастого вала двигуна, розрідження у впускному трубопроводі (колекторі) та кут відкриття дросельних заслінок. Маючи чисельні значення цих параметрів, а також швидкості руху транспортного засобу, можна визначити режим руху транспортного засобу і виконати перевірку математичної моделі на адекватність. Тому ці параметри повинен знімати та записувати створюваний програмно-апаратний комплекс.

Виклад основного матеріалу. Дослідна установка складається з досліджуваного двигуна, встановленого на колісному тракторі, датчиків для визначення показників цього двигуна, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) для перетворення сигналів датчиків та персонального комп'ютера (ПК) з спеціальним програмним забезпеченням для отримання, запису та обробки сигналів, що надходять з датчиків через АЦП.

Датчики виконують функцію збору інформації про поточний стан параметрів двигуна. Сигнали з датчиків обробляються за допомогою АЦП, який перетворює аналогові сигнали датчиків у цифровий код, придатний для сприйняття програмним забезпеченням ПК. В якості ПК використовується ноутбук, мобільність якого дозволить проводити не тільки лабораторні, але й дорожні дослідження.

Аналіз параметрів двигуна і транспортного засобу, які ми будемо вимірювати та опрацьовувати за допомогою створеного програмно-апаратного комплексу, розпочнемо з частоти обертання колінчастого вала двигуна. Вона міняється в межах від 600 об/хв (холостий хід) до 2200 об/хв (на таку частоту відрегульований виконавчий механізм обмежувача максимальної частоти обертання відцентрово-вакуумного типу). Оскільки на даному двигуні встановлено електронне безконтактне запалювання з датчиком-розподільником, то визначення частоти обертання двигуна можна провести шляхом підрахунку імпульсів переривання, які надсилає датчик на котушку. Запалювання безконтактне, отже, датчик-розподільник (датчик Хола) під'єднується до котушки запалювання через комутатор системи запалювання, який перетворює імпульси датчика Хола в імпульси струму в первинній обмотці котушки запалювання. Зняття імпульсів датчика будемо проводити саме з цього комутатора. Напряга вихідного сигналу комутатора, який буде зніматися — ± 5 В. загальний вигляд комутатора показано на рисунку 1, а.



а



б

Рисунок 1 – Комутатор запалювання (а) і датчик абсолютного тиску у впускному колекторі (б)



а



б

Рисунок 2 – Датчик положення дросельної заслінки (а) і датчик швидкості руху трактора

Оскільки даний двигун чотирициліндровий чотиритактний, то повний робочий цикл в кожному з циліндрів проходить за два повних оберти колінчастого вала двигуна. Сам же робочий цикл складається з чотирьох тактів: впуску, стиснення, робочого ходу і випуску. Для рівномірності обертання колінчастого вала в таких двигунах під час роботи в кожному з циліндрів проходять різні такти робочого циклу (тобто стиснення, наприкінці якого відбувається запалювання, в даний момент часу може відбуватися тільки в одному циліндрі). Оскільки весь цикл (чотири такти) проходить за два оберти колінчастого вала, то на один оберт припадає два такти. Оскільки всі такти в кожен момент часу різні, то на один оберт припадає стиснення у двох різних циліндрах, тобто на один оберт потрібно два імпульси запалювання. Таким чином, підрахувавши кількість імпульсів комутатора і поділивши отримане число на два, отримаємо частоту обертання колінчастого вала без використання будь-яких додаткових апаратних пристроїв (датчиків, частотомірів тощо).

Розрідження у впускному колекторі коливається в межах 0,2 – 1 Бар. Для його визначення використаємо автомобільний датчик серійного виробництва, який призначений для вимірювання цього параметра. Серед аналогів стабільністю вихідного сигналу відрізняється датчик абсолютного тиску [6] в впускному колекторі MAP-sensor фірми Ford (MAP – manifold absolute pressure). Даний датчик з'єднаний вакуумним шлангом з впускним колектором. Розрідження в колекторі діє на діафрагму, переміщення якої датчик перетворює в електричний сигнал. Цей датчик має частотний вихід (на відміну від аналогічних автомобільних датчиків інших фірм, що мають вихідним сигналом напругу), тобто розрідження визначається частотою вихідного сигналу. Зовнішній вигляд датчика наведений на рисунку 1, б. В документації на датчик наводиться тарувальна характеристика – залежність розрідження від вихідної частоти датчика. Напруга вихідного сигналу датчика — ± 5 В. Живлення датчика здійснюється від крони напругою 9 В.

Для визначення кута відкриття дросельної заслінки також використовується серійний автомобільний датчик фірми Opel. Цей тип автомобільних датчиків називається TP-sensor (TP - throttle position). Зовнішній вигляд датчика наведено на рисунку 2, а. Цей датчик є потенціометричним за своїм принципом дії. Він має три виводи. До одного з них підводиться напруга живлення, другий вивід заземлений, а з третього, з'єднаного з повзунком потенціометра, знімається напруга, пропорційна куту відкриття заслінки. Значення даного параметра коливаються в межах 0 – 90°. Оскільки вихідний сигнал датчика залежить від напруги живлення та особливості позиціонування самого датчика на двигуні, то при перестановці його на інший двигун потрібно провести його тарування. Після встановлення даного датчика на дослідну установку було проведено його тарування, внаслідок якого було

знайдено залежність кута відкриття дросельної заслінки від вихідної напруги датчика. Тарування датчика проводилось шляхом встановлення дросельної заслінки на певний кут по трафарету і записом вихідного сигналу датчика. Живлення датчика – крона 9 В.

Для визначення частоти обертання колеса використовується датчик індукційного типу (датчик Холла), аналогічний датчику системи запалювання. Цей датчик складається з двох частин — постійного та електромагніта, які розділені повітряним проміжком [7]. При введенні у цей проміжок металевої пластини рівень вихідного сигналу падає, а при виведенні пластини – зростає. Внаслідок цього вихідний сигнал датчика — це частотний сигнал з імпульсами прямокутної форми. В якості металевої пластини ми використали металевий диск із зубцями прямокутної форми. Диск встановлюється на осі обертання ведучого колеса, а сам датчик – нерухомо на корпусі транспортного засобу. При обертанні колеса обертається диск, зубці якого заходять в повітряний проміжок датчика Холла. Таким чином на виході датчика отримується сигнал прямокутних імпульсів, частота яких залежить від частоти обертання колеса. При дорожніх випробуваннях на транспортному засобі (тракторі) використано диск з 12 зубцями, оскільки частота обертання колеса трактора незначна порівняно з частотою обертання колінвала двигуна. Збільшення кількості зубців дозволяє збільшити точність вимірювання. Зовнішній вигляд датчика при дорожніх вимірюваннях показано на рисунку 2, б.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) призначений для перетворення аналогових сигналів, що надходять з датчиків, в цифрові сигнали, які придатні для прийому та запису на ПК. На даний час існує велике різноманіття плат АЦП. Ми вибрали досить розповсюджену, відносно недорого та досить надійну плату АЦП Е14-140 (далі – просто Е-140) фірми L-Card.

Багатоканальний 14-ти розрядний АЦП модуля Е-140 дозволяє працювати з 16-ма диференціальними або 32-ма каналами із загальною землею. Кожен із аналогових сигналів підключається до АЦП через програмно керований аттенюатор, який дозволяє задавати один з чотирьох діапазонів вимірювання напруги. Модуль Е-140 забезпечує безперервний збір аналогових даних на частотах дискретизації АЦП від 0,122 до 100,0 кГц. Наявність спеціального входу-виходу синхронізації дозволяє з'єднати декілька плат Е-140 за допомогою цих ліній по схемі «один ведучий — один чи декілька ведених», дозволяє апаратно засинхронізувати моменти старту АЦП в декількох модулях Е-140. Незалежно від чисто апаратного способу синхронізації, в Е-140 наявний окремий вхід програмного переривання контролера.

Цифровий ввід-вивід представлений у вигляді 16 вхідних і 16 вихідних цифрових ТТЛ-сумісних ліній. Цифрові виводи за бажанням користувача можуть бути переведені у третій стан.

Малі габаритні розміри модуля Е-140 і використання широко розповсюдженого інтерфейсу USB робить даний пристрій зручним для організації польових вимірювань, які потребують високої ступені мобільності.

Специфікація USB дозволяє як «гаряче» підключення пристроїв до шини USB, з їх автоматичним розпізнанням, так і ввімкнення ПК з вже підключеним зовнішнім модулем. Для забезпечення роботоздатності модуля Е-140 в операційній системі Windows98/2000/XP необхідно встановити відповідний драйвер. Шина USB дозволяє користувачу працювати з периферійними пристроями в режимі Plug&Play. Ініціалізація програмних драйверів шини здійснюється операційною системою після розпізнання нового пристрою. При самому першому підключенні модуля Е-140 до ПК операційна система дасть запит на файли драйвера для підключеного модуля. Користувачу потрібно вказати розміщення файла *ldevusb.inf*, що знаходиться на установочному диску. У випадку вдалої ініціалізації інформація про драйвер буде занесена в реєстр Windows, і при повторних сеансах роботи пристрій буде ініціюватися автоматично. У випадку необхідності слід провести перезавантаження ПК. Також необхідною умовою роботи Е-140 є наявність файла DLL бібліотеки *lusbapi.dll* в системній папці Windows. Для цього потрібно скопіювати даний файл з установочного диска в системну папку операційної системи.

Оскільки напруга вихідних сигналів датчиків та сигналу з комутатора системи запалювання лежать в межах допустимих робочих вхідних напруг, то підключення датчиків та комутатора здійснюється безпосередньо до АЦП. Датчики підключаємо за диференціальною схемою, оскільки при підключенні за однофазною схемою зі спільною землею AGND з'являється помітний взаємовплив сигналів з різних датчиків між собою, що створює перешкоди для отримання точного сигналу (особливо для сигналу положення дросельної

заслінки, де кут відкриття визначається не по частоті вихідного сигналу датчика, а по його напрузі). Для запису та обробки даних, отриманих з датчиків, використовується ПК. Для більшої зручності під час проведення лабораторних випробувань та можливості проведення дорожніх випробувань доцільніше використовувати ноутбук. Головним критерієм вибору ноутбука є тактова частота процесора та об'єм оперативної пам'яті, оскільки при записі сигналів протягом тривалого часу саме ці параметри визначають тривалість запису та частоту дискретизації АЦП. Ми використовували ноутбук (рис. 3) на базі процесора Intel Core Dual з тактовою частотою 1,66 GHz з об'ємом оперативної пам'яті 2 Gb. Операційна система — Microsoft Windows XP SP2. АЦП підключається до ноутбука через інтерфейс USB.

Оскільки наш АЦП виробництва фірми LCard, яка пропонує готове програмне забезпечення (ПЗ) для роботи із пристроями, то вибираємо програму LGraph 2, яка має ширші функціональні можливості [8]. Програма LGraph 2 призначена для реєстрації, перегляду і збереження в цифровому вигляді аналогових сигналів, поданих на входи різноманітних пристроїв збору даних виробництва ЗАТ LCard.

Програма розрахована на роботу в середовищі Windows XP. Ми використовували програму LGraph 2 версії 2.12. Після встановлення LGraph 2 та підключення АЦП до ПК при першому запуску програми потрібно вибрати модуль АЦП, з яким буде працювати програма.



Рисунок 3 – Реєструюча апаратура (ноутбук і АЦП) в кабіні трактора МТЗ-80

Оскільки сигнали, записані з АЦП, безпосередньо не відображають значення досліджуваних параметрів, то для отримання цих значень потрібно розробити програмне забезпечення для остаточної обробки отриманих даних. Дану програму розроблено в середовищі програмування Delphi 7.

Створена програма носить умовну назву Calc&Graph. Дана програма складається з трьох модулів, один з яких є головним (Unit1) – він виконує завантаження, обробку та збереження сигналів, два інших (Unit2 і Unit3) є допоміжними і служать для графічного відображення графіків вхідних і вихідних даних програми.

Програму LGraph 2, яка здійснює комутацію АЦП з ПК, дозволяє в режимі реального часу спостерігати за значеннями досліджуваних параметрів та їх зміною, а також проводити запис сигналів датчиків із подальшим збереженням цих записів на жорсткому диску ПК і експортом цих записів у текстовий файл та графіків цих записів у графічний файл bmp. В доповнення до цієї програми був розроблений власний програмний продукт, який здійснює остаточну специфічну обробку отриманих даних. Розроблена програма Calc&Graph дозволяє завантажувати і опрацьовувати файли будь-якої величини (обмеження накладають лише апаратні можливості конкретного ПК), будувати графіки завантажених сигналів та оброблених даних, зберігати результати своєї роботи у текстовий файл для подальшого дослідження та обробки.

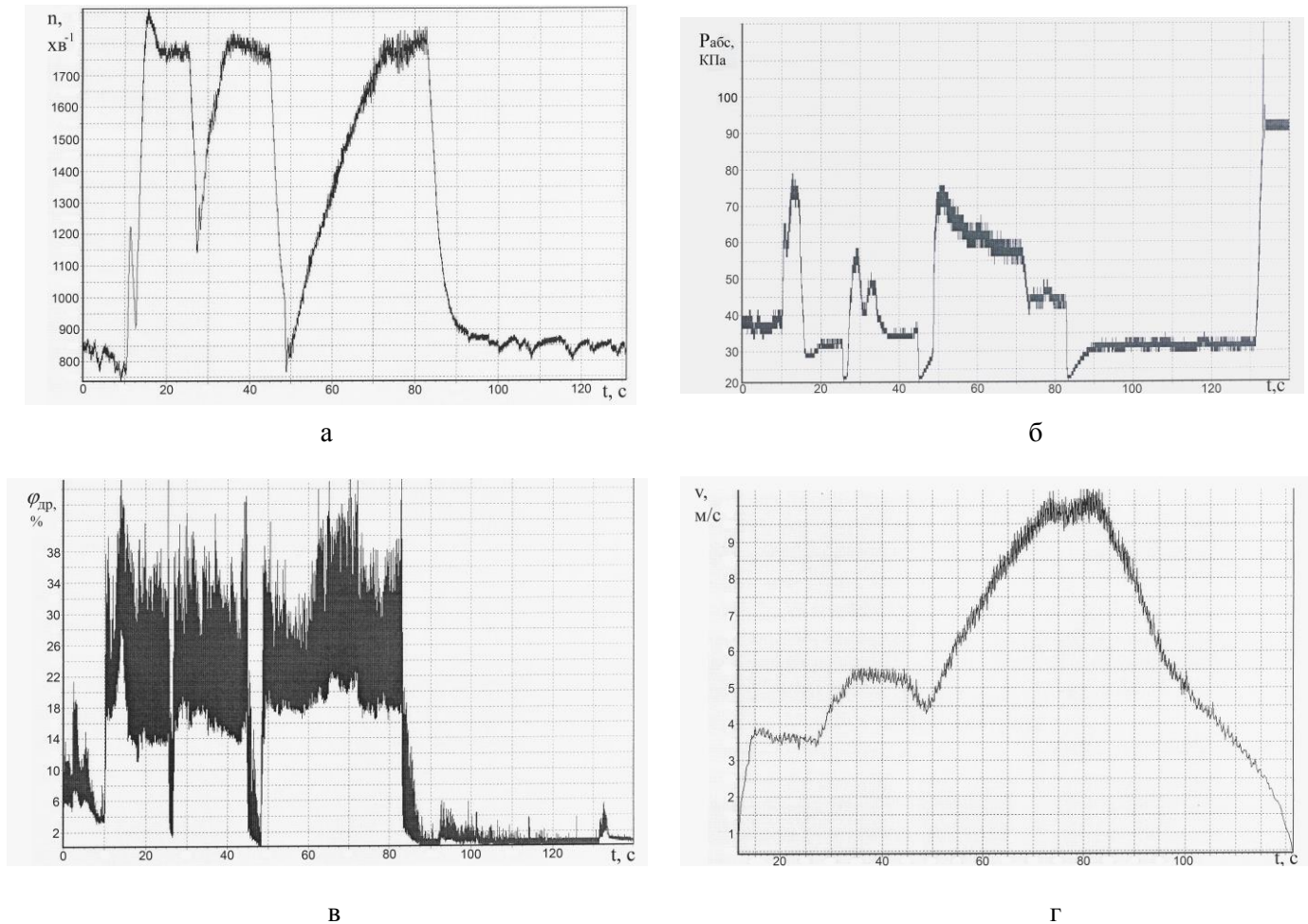


Рисунок 4 – Діаграми зміни параметрів колісного трактора при русі за їздовим циклом (а)- частота обертання колінчастого вала; (б)- розрідження у впускному колекторі; (в)- кут відкриття дросельних заслінок; (г)- швидкість трактора.

За розробленою технологією переобладнано колісний трактор МТЗ-80 для роботи на скрапленому газі. Було переобладнано дизель трактора в газовий двигун з іскровим запалюванням та встановлено балон для пропан-бутану. Трактор було випробувано при виконанні транспортної роботи. Трактор було оснащено датчиками і при русі трактора за їздовим циклом з переключенням передач транспортного ряду з 6-ї на 8-к та на 9-у на ноутбук безперервно записувались значення частоти обертання колінчастого вала, кут відкриття дросельних заслінок, абсолютний тиск у впускному колекторі та швидкість трактора (рис. 4), вимірювалась витрата палива.

Висновки. Виконана робота є основою для подальшої наукової роботи в даному напрямку. Створений реєстраційний комплекс можна використати для перевірки адекватності математичної моделі, за якою проводились попередні розрахунки показників транспортного засобу. Перевірка її адекватності дасть можливість не лише її використання для оцінки доцільності переобладнання дизельних двигунів у газові за запропонованою кафедрою автомобілів нашого університету методикою, але й створити за допомогою комп'ютерної техніки імітаційну модель руху транспортного засобу, яка б моделювала в режимі реального часу роботу двигуна та визначала його основні параметри та параметри транспортного засобу в цілому.

Інформаційні джерела

1. Kamel M.M. Duggal V.K. Cummins B5.9G Natural Gas Engine. NGV'14 International Conference. Toronto, Ontario, Canada.
2. Yutaka Takada, Hiroshi Matsuda, Kahachi Iioka. Development of an Urban Bus with a Turbocharger and Aftercooled Lean – Burn CNG Engine for low Emissions. NGV'14 International Conference. Toronto, Ontario, Canada.

3. Газобалонные автомобили/ Е.Г.Григорьев, Б.Д.Колубаев, В.И.Ерохов и др.– М.: Машиностроение, 1989.– 216 с.
4. Луканин В.Н., Хачиян А.С., Кузнецов В.Е., Федоров В.М. Сравнительный анализ способов конвертации жидкотопливных двигателей в двигатели, питаемые природным газом // Экология двигателей и автомобиля: Сборник научных трудов.– М.: Изд. НАМИ, 2001.– с. 97–103.
5. Матейчик В.П., Яновський В.В., Захарчук В.І., Сітовський О.П., Козачук І.С. Дослідження газового двигуна з іскровим запалюванням, переобладнаного з дизеля // Автошляховик України. – № 4. – 2008.
6. Литвиненко В.В., Майструк О.П. Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. – М.: КЖИ «За рулем», 2004.
7. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004.
8. LGraph2: Руководство пользователя. – М., 2008.
9. Кэнту М. Delphi 7: Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2004.

Zakharchuk V.I., Sitovsky O.P., Zakharchuk O.V.

Lutsk National Technical University

COMPLEX OF DEVICES FOR REGISTRATION OF VEHICLE PARAMETERS DURING MOVEMENT

To verify the adequacy of the mathematical model of vehicle movement on the driving cycle, there is a need for a set of devices to register its parameters while driving. As such parameters the wheeled tractor with the gas engine the frequency of rotation of a cranked shaft, rarefaction in an inlet collector, an angle of opening of throttle valves, speed of movement is chosen. The hardware part of the complex has been developed: sensors have been selected, an analog-to-digital converter (ADC), a laptop for information processing have been selected, sensors have been connected to the ADC, and the ADC to the laptop. A program for monitoring and recording sensor signals on a laptop has been selected. A program has been developed for the final processing of the obtained data - the conversion of sensor signals into the values of the studied parameters. The set of devices is mounted on a wheeled tractor MTZ-80 with a gas engine converted from a diesel engine. Several recordings of selected parameters in road conditions were made

Key words: engine, tractor, sensor, program, converter, signal.

Захарчук В.І., Сітовський О.Ф., Захарчук О.В.

Луцкий национальный технический университет

КОМПЛЕКС ПРИБОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ

Для проверки адекватности математической модели движения транспортного средства по ездовым циклам есть потребность в комплексе приборов для регистрации его параметров во время движения. В качестве таких параметров колесного трактора с газовым двигателем избрано частоту вращения коленчатого вала, разрежение во впускном коллекторе, угол открытия дроссельных заслонок, скорость движения. Разработано аппаратную часть комплекса: подобрано датчики, выбрано аналого-цифровой преобразователь (АЦП), ноутбук для обработки информации, осуществлено подключение датчиков к АЦП, а АЦП к ноутбуку. Подобрано программу для мониторинга и записи сигналов датчиков на ноутбук. Разработана программа для окончательной обработки полученных данных - преобразование сигналов датчиков в величины исследуемых параметров. Комплекс приборов смонтирован на колесном тракторе МТЗ-80 с переоборудованным с дизеля газовым двигателем. Осуществлено несколько записей выбранных параметров в дорожных условиях.

Ключевые слова: двигатель, трактор, датчик, программа, преобразователь, сигнал.

УДК 006.06

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-10

Карась В.І., Драган А.П., Клендій М.І.

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

ДО ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ

В даній статті проаналізовано проблеми, що виникають під час створення, розвитку виробництва і ринку електромобільного транспорту в Україні і світі. Наведено дані щодо темпів розвитку ринку електромобілів в Україні і світі. Проведено аналіз існуючих стандартів в галузі виробництва і експлуатації електромобілів і окреслено шляхи подальшого розвитку стандартизації в даній галузі.

Розвиток ринку електромобілів формує кілька корисних факторів, а саме екологічний, соціально-психологічний, інноваційний, енергетичний та економічний. Однією із проблем, що гальмує розвиток ринку транспортних засобів з електромотором в Україні, є неврегульоване питання обладнання місць для паркування та зарядки електромобілів, відсутність відповідних дорожніх знаків і т.д. Вирішення цих питань повинно здійснюватися на державному рівні і врегульовуватись нормами і правилами, встановленими у відповідних законодавчих актах та нормативно-технічних документах.

Ключові слова: стандартизація, електромобіль, електромобілебудування.

Вступ. Розвиток світової економіки веде до збільшення кількості транспортних засобів, ліву частку яких складають автомобілі. Використання автопарку значно підвищує рівень атмосферного забруднення навколишнього середовища. Контроль за відпрацьованими газами автомобілів і зменшення викидів шкідливих речовин є глобальною проблемою і тому встановлюються допустимі норми, що регламентують рівні викидів токсичних речовин. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є впровадження в експлуатацію електромобілів, які значно екологічно безпечніші від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання.

Постановка проблеми. Сучасні технічні розробки та науково-обґрунтовані пропозиції в галузі автомобілебудування дають можливість створювати нові машини на базі електричних двигунів, які поступово стають заміною для двигунів з традиційними джерелами енергії. Кількість електромобілів в Україні постійно зростає, проте рівень інфраструктури і забезпеченість стандартами відстає і перетворюється на гальмо для розвитку даної сфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча, на даний час, в Україні існує досить багато державних стандартів дотичних до виробництва і експлуатації електромобілів [5-11], однак загальний рівень стандартизації у даній галузі не можна вважати достатнім.

Мета статті. Проведення аналізу існуючих стандартів в галузі виробництва і експлуатації електромобілів і окреслення подальшого розвитку стандартизації в даній галузі.

Матеріал досліджень. Сьогодні все більшої популярності набувають екологічно чисті автомобілі. Такі транспортні засоби приводяться в рух електричним струмом, використовуючи або акумуляторні батареї, або паливні елементи, які працюють на водні. Часто в цю категорію включаються і гібридні авто, які використовують електромотори і двигуни внутрішнього згорання на біопаливі, бензині або дизельному паливі.

Розвиток ринку електромобілів формує кілька корисних факторів, а саме екологічний: покращує екологію навколишнього середовища, знижує рівень викидів вуглекислого газу; соціально-психологічний: проста конструкція електромобіля дає змогу спростити і зробити найбільш зручним його експлуатацію та використання, полегшити ремонт, завдячуючи гальмуванню двигуном, в електромобілів дуже мало зношуються гальма – відповідно, вони порівняно кращі, ніж гальма в звичайних машин, електромобіль не створює сильного шумового забруднення, оскільки його структура містить набагато менше технічних деталей, здатних створювати шум, на відміну від традиційних авто; **інноваційний:** електромобілі легко захоплюють увагу та стають модною новинкою, навколо них формується потужний кластер роботизації, інноваційних сервісів, IT-продуктів, зарядної інфраструктури, використання альтернативних джерел енергії та акумуляторів; **енергетичний та економічний:** досягнення енергетичної незалежності шляхом створення сонячних ферм чи вітрових електростанцій – це найкраща альтернатива використання російського газу та нафти. Ми можемо збільшити потужності вироблення зеленої енергії, адже в Україні є достатньо відповідних територій.

В Україні першою розробкою автомобіля з електродвигуном вважається ЗАЗ-968 Електро, який був розроблений в 1973 році Запорізьким машинобудівним заводом. Автомобіль мав електродвигун потужністю 4 кВт і систему рекуперації енергії — тобто, батареї заряджалися при гальмуванні. Батарея машини важила близько 400 кг, а на одній зарядці «Електрозапорожець» міг подолати 100 км. Його збиралися запустити в серійне виробництво, але фінансування на ЗАЗ-968 «Електро» так і не виділили.

Восени 2010 року у Києві вперше представлена нова розробка Запорізького автозаводу - ЗАЗ Ланос Пікап Електро. Автомобіль був призначений для обслуговування торговельних точок закритих для руху звичайних автомобілів, зони великих міст, курортів тощо. Ланос-Електро оснащений італійським електродвигуном потужністю 15 кВт і вісьмома акумуляторами, які забезпечували пробіг до зарядки орієнтовно 100 км. Один блок акумуляторів українського виробництва розміщений під капотом, інший у вантажному відсіку, де займає близько одного квадратного метру корисної площі. Однак запропонована розробка не була підтримана на державному рівні.

В 2016 році компанія Electric Marathon International презентувала в Монако електромобіль Synchronous. Машину представили як український електромобіль. Дизайн авто виконаний київською студією Prystrast, двигун «Слов'янка» — розробка одеської компанії EcoFactor, виготовлення кузова також проводилося в Одесі. Запас ходу на одній зарядці акумуляторів — 130-160 км. На даху автомобіля розміщені сонячні батареї. Synchronous розвиває швидкість 60-70 км/год. За словами розробників, зовнішній вигляд, що нагадує середньовічну карету, дозволяє електромобілю стати ідеальним засобом пересування в місті як таксі, або екскурсійне авто. У зв'язку з нестачею фінансування на державному рівні Український автопром поки не створив конкурентоздатний електромобіль, який може вийти на світовий ринок, однак українські інженери за кордоном активно працюють у цій сфері. Одним з них є Андрій Джазовський, котрий уже другий рік створює і удосконалює електромобілі, проживаючи в Монако. Розроблена ним модель суперкару NIMERA-Q уже проходить останні випробування в Барселоні; в Україні також планується представлення авто. У червні 2018 року ним також була представлена нова версія концепту Kugel зі зміненим розміщенням сидінь, а також на меншу кількість пасажирів. Електрокар має мотор на 3,3 кВт, що дозволяє подолати відстань у 180-200 км. Kugel замовила влада Монако.

Однак у світі розвиток електромобілебудування, за останні п'ять років, набув шалених темпів зростання. Україна сьогодні є одним з світових лідерів за темпами росту ринку продажів електромобілів. Станом на 30 грудня 2019 року в Україні зареєстровано більше 35 тисяч електромобілів та гібридів, що на 56% більше, ніж рік тому. В таблиці 1 наведено дані по реалізації автомобілів з електромотором в Україні протягом останніх п'яти років.

Таблиця 1

Продаж електромобілів в Україні

Рік реалізації	Електромобілі	Гібридні автомобілі	Разом
2015	488	216	704
2016	1709	884	2593
2017	3265	3084	6349
2018	5130	4986	10116
2019	7687	8468	16155

Якщо зробити аналіз даних таблиці то побачимо, що за останній рік зріс продаж не тільки електромобілів, але і гібридних машин, реалізація яких в 2019 році вперше перевищила кількість чистих електромобілів.

Аналізуючи графіки реалізації електромобілів і всіх інших транспортних засобів в Україні і світі (див. рис. 1 і 2), можна зробити висновок, що в нашій державі придбання автомобілів з електричним двигуном у процентному співвідношенні до загальної кількості реалізованих транспортних засобів, за останні роки перевищує світові темпи зростання продажів. При цьому необхідно враховувати, що значна кількість транспортних засобів зареєстрованих в Україні не є новими. Однією із проблем, що гальмує розвиток ринку транспортних засобів з електромотором в Україні, є неврегульоване питання обладнання місць для паркування та зарядки електромобілів, відсутність відповідних дорожніх знаків.

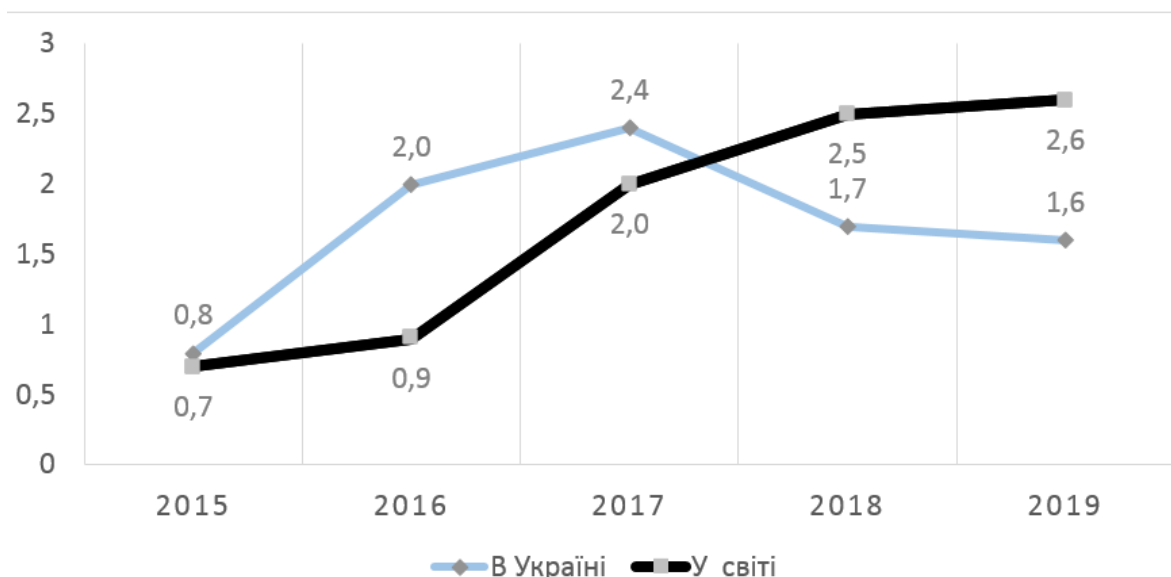


Рис. 1. Процентне співвідношення продажу електромобілів відносно загальної кількості зареєстрованих нових автомобілів

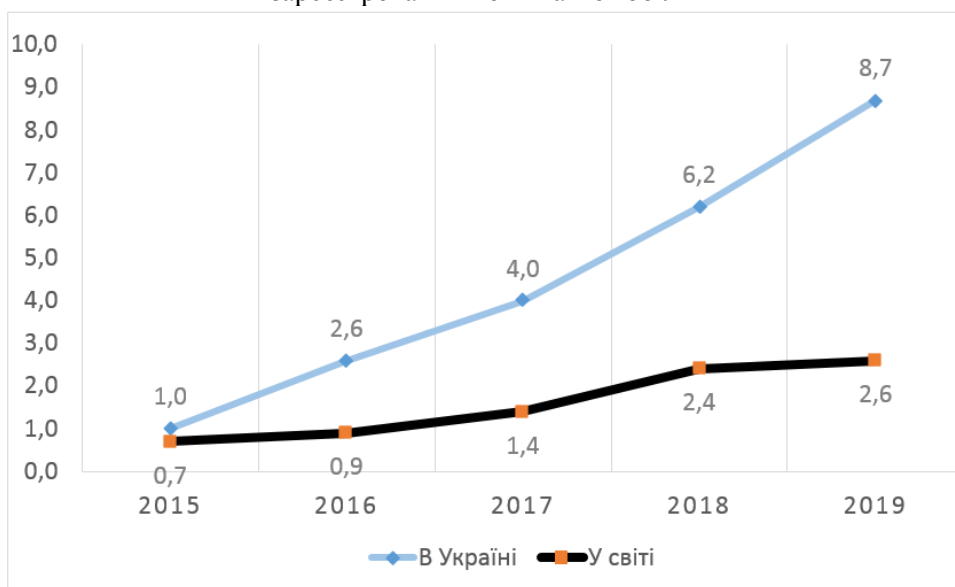


Рис. 2. Процентне співвідношення загально придбаних автомобілів на протязі року в Україні і світі до кількості куплених електромобілів

Вирішення цих питань повинно здійснюватися на державному рівні і врегульовуватись нормами і правилами, встановленими у відповідних законодавчих актах та нормативно-технічних документах.

Адже, інфраструктура — ключовий елемент у розвитку будь-якої галузі чи сектору економіки. Для електромобільного транспорту розгалужена мережа зарядної інфраструктури є запорукою комфортного використання електромобілів з можливістю пересуватись не лише в межах населених пунктів, але і здійснювати міжміські подорожі. Тому створення нової інфраструктури з надшвидкісними зарядними станціями, що також відкриє новий напрямок туризму на електрокарах. Для цього потрібні зміни в державних стандартах України, а саме:

- зміни до ДСТУ 4278:2006, які передбачатимуть спеціальні номерні знаки із зеленим кольором шрифту для транспортних засобів, які приводяться в рух електричним двигуном і не мають двигуна внутрішнього згорання;

- зміни до ДСТУ 4100:2014, які передбачатимуть запровадження нових дорожніх знаків «Для електромобілів», «Крім електромобілів», «Станція зарядки електромобілів»;

- зміни до Державних будівельних норм (ДБН) України щодо визначення обов'язкових параметрів, деталізованих вимог облаштування машиномісць або паркомісць для транспортних засобів, оснащених електричними двигунами (одним чи декількома). Особливо значущими

мають стати зміни до ДБН України, які мають врегулювати питання будівництва паркувальних майданчиків з зарядними станціями для транспортних засобів оснащених електричними двигунами.

На міжнародному рівні розвиток стандартизації, в напрямку забезпечення прискорення електромобілебудування, також не стоїть на місці. Розробка та впровадження нових нормативних документів в світі стане орієнтиром для розвитку випереджаючої стандартизації в Україні. Так в Україні прийняті гармонізовані стандарти ДСТУ EN 60622:2016 і ДСТУ EN 60285:2016, які передбачені в рамках реалізації проекту Twinning «Впровадження системи управління відходами електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) в Україні».

Впровадження стандартів розроблених міжнародними організаціями із стандартизації сприяє розвитку зарядної інфраструктури електромобілів, а саме IEC 62192-2, який визначає типи електричних роз'ємів і режими зарядки електромобілів. Стандартом визначені три типи електричних роз'ємів і чотири види режиму зарядки акумуляторів електромобілів, що значно підвищить уніфікованість та стандартизацію електричних роз'ємів, конструктивних їх елементів та деталей. ISO 6469-3:2011 встановлює вимоги безпеки електричних двигунів та допоміжних електричних систем.

Ще один стандарт у цій сфері, який допоможе визначити силу тяги, яку очікують автомобілісти - ISO 20762:2018 "Дорожньо-транспортні засоби з електроприводом. Визначення потужності для приведення в рух гібридного електромобіля". Він був розроблений для спрощення процесу оцінки максимальної потужності гібридного електричного транспортного засобу.

Крім того, в даний час розробляється стандарт ISO 23274-1 "Гібридно-електричні дорожні транспортні засоби. Вимірювання викидів вихлопних газів і витрати палива. Частина 1: Транспортні засоби без зовнішньої підзарядки". Цей стандарт дозволить зацікавленим сторонам оцінювати рівень викидів вихлопних газів при різних циклах роботи, навантаженнях і температурах.

Для поширення електротранспорту потрібно виконати дві умови. По-перше, знизити вартість одного з найдорожчих елементів електромобіля – батареї. Її здешевлення – найкоротший шлях до доступного транспорту. По-друге, для того, щоб електрокари купували, повинна бути добре розвинена інфраструктура розміщення станцій зарядки.

Одним словом, електромобілі та інші засоби для транспортування на електробатареях (електровелосипеди, електромотоцикли, електросамокати та інші) – це поштовх до розвитку та економічного зростання. З'являються все нові різноманітні пропозиції від банків з вигідними та доступними кредитами на електромобілі. Податкові заходи є також важливим інструментом у формуванні споживчого попиту на електромобілі. Зокрема, у ст. 19 Директиви ЄС передбачено, що Рада ЄС може дозволити податкові пільги при формуванні внутрішнього ринку електромобілів [4].

Також в найближчому майбутньому буде створена нова інфраструктура з надшвидкісними зарядними станціями, що також відкриє новий напрямок туризму на різноманітних видах електротранспорту.

Висновки. На основі даних, наведених в даній статті, можна зробити наступні висновки:

- ринок електромобілів є надзвичайно перспективним і у найближчі роки продовжить стрімко розвиватися;

- для забезпечення розвитку ринку електромобілів в Україні необхідно оперативно модернізувати систему стандартів реагуючи на постійні зміни як в технологіях виготовлення електромобілів так і в забезпеченні необхідної інфраструктури і умов їх експлуатації.

Інформаційні джерела:

1. Гутаревич Ю. Ф. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержиєвська // - К. : Арістей, 2006. - 292 с.

2. Клименко М.О. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології: Підручник. / М.О. Клименко, П.М. Скрипчук // К.: Видавничий центр "Академія", 2006. - 368 с.

3. Малиш Н. А. Формування та розвиток електромобільної галузі в Україні / Н.А. Малиш // Зелена економіка: перспективи впровадження в Україні : матеріали Міжнародної конференції

(Київ, 24–25 квіт. 2012 р.) : у 3 т.– К. : Центр еколог. освіти та інформації, 2012. – Т. 1. – С. 240–244.

4. Директиви Європейського Союзу 2003/96/ЄС «Про реструктуризацію системи Співтовариства з оподаткування продуктів енергії та електроенергії». (Офіційний вісник ЄС, L 283, 31 жовтня 2013 р., с. 51—70)

5. ДСТУ ІЕС 61238-1-3:2019 (ІЕС 61238-1-3:2018, ІДТ) Опресовані та механічні з'єднувачі для силових кабелів. Частина 1-3. Методи випробування та вимоги до опресованих та механічних з'єднувачів для силових кабелів для номінальних напруг від 1 кВ ($U_m = 1,2$ кВ) до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ), випробуваних на неізолюваних провідниках. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.- 81 с.

6. ДСТУ EN 60622:2016 Акумулятори та акумуляторні батареї, які містять лужні чи інші некіслотні електроліти. Герметизовані нікель-кадмієві призматичні одиночні акумулятори, що перезаряджаються (EN 60622:2003, ІДТ)[діє від 01.11.2016] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.-27с.

7. ДСТУ EN 60285:2016 Акумулятори та батареї лужні вторинні. Герметизовані нікель-кадмієві циліндричні одиночні акумулятори, що перезаряджаються (EN 60285:1994, ІДТ) [діє від 01.11.2016] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.-21с.

8. ДСТУ EN ISO 11664-2:2018 (EN ISO 11664-2:2011, ІДТ; ISO 11664-2:2007, ІДТ) Колориметрія. Частина 2. Джерела світла, стандартизовані МКО. [діє від 01.10.2018] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.-31с.

9. ДСТУ 4278:2019 Дорожній транспорт. Знаки номерні транспортних засобів. Загальні вимоги. Правила застосування. Національний стандарт України [діє від 16.03.2020] Київ: 2019.-23 с.

10. ДСТУ ISO 3929:2019 Дорожні транспортні засоби. Методи вимірювання газів під час огляду або технічного обслуговування (ISO 3929:2003,ІДТ). [діє від 01.09.2019] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.-36с.

11. ДСТУ4100:2019 Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Національний стандарт України [діє від 16.11.2020] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.-195с.

12. ISO 6469-1:2019 Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS).

13. ISO 6469-2:2018 Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures.

14. ISO 23828:2013 Fuel cell road vehicles — Energy consumption measurement — Vehicles fueled with compressed hydrogen.

15. ISO 6469-3:2018 (en) Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 3: Electrical safety.

16. ISO 20762:2018 (en) Electrically propelled road vehicles — Determination of power for propulsion of hybrid electric vehicle.

17. IEC 62192:2009 Live working - Insulating ropes.

18. ISO 23274-1:2019 Hybrid-electric road vehicles — Exhaust emissions and fuel consumption measurements — Part 1: Non-externally chargeable vehicles.

Карась В.И., Драган А.П., Клендїй М.И.

ОП НУБіП України «Бережанский агротехнический институт»

К ВОПРОСУ СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В УКРАИНЕ

В данной статье проанализированы проблемы, возникающие при создании, развитии производства и рынка электромобильного транспорта в Украине и мире. Приведены данные по темпам развития рынка электромобилей в Украине и мире. Проведен анализ существующих стандартов в области производства и эксплуатации электромобилей и намечены пути дальнейшего развития стандартизации в данной отрасли.

Развитие рынка электромобилей формирует несколько полезных факторов, а именно экологический, социально-психологический, инновационный, энергетический и экономический. Одной из проблем, которая тормозит развитие рынка транспортных средств с электромотором в Украине, является урегулирование вопроса оборудования мест для парковки и зарядки электромобилей, отсутствие соответствующих дорожных знаков и т.д. Решение этих вопросов должно осуществляться на государственном уровне и регулироваться нормами

и правилами, установленными в соответствующих законодательных актах и нормативно-технических документах.

Ключевые слова: стандартизация, электромобиль, электромобилестроение.

Karas V.I., Drahan A.P., Klendiy M.I.

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany agrotechnical institute»

TO THE QUESTION OF STANDARDIZATION OF ELECTRIC VEHICLES IN UKRAINE

This article analyzes the problems that arise during the creation, development of production and the market of electric vehicles in Ukraine and the world. The data on the rate of development of the electric vehicle market in Ukraine and the world are given. The analysis of existing standards in the field of production and operation of electric vehicles is carried out and ways of further development of standardization in this industry are outlined.

The development of the electric vehicle market creates several beneficial factors, namely environmental, socio-psychological, innovation, energy and economic. One of the problems that hinders the development of the market for vehicles with an electric motor in Ukraine is the settlement of the issue of equipping parking and charging places for electric vehicles, the lack of appropriate road signs, etc. The solution of these issues should be carried out at the state level and be regulated by the norms and rules established in the relevant legislative acts and regulatory and technical documents.

Key words: standardization, electric vehicle, electric vehicle construction.

УДК [004.94+006.022]+[371.693.4+377.169.3]

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-11

¹А.І. Коробко, ²В.Є. Шатіхіна¹Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого, Харківська філія²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВІРТУАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕР АКРЕДИТОВАНОЇ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

Анотація. В статті запропоновано концепт віртуального тренажера випробувальної лабораторії призначеного для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів. Тренажер побудовано на принципах мислєдїяльностної методології: рівні ієрархії визначаються рівнем встановлєних вимог, фази послїдовностю впровадження нових редакцій нормативних документів, що регламентують дїяльност випробувальної лабораторії, і визначаються редакцією (версією) цих документів, види функцій визначають роль окремих елементів системи управлїння в загальній системі. Застосування запропонованого тренажера направлєне на формування у студентів професійних знань, умїнь і навичків самостійно приймати рїшення та формування індївїдуальних рїшень розв'язання ситуацій, здобуття надпрофесійних навичків (soft skills), здобуття професійних навичків роботи з нормативними документами (зокрема, стандартами), випробувальним устаткуванням, засобами вимірювальної техніки, роботи з адмїністрування систем управлїння якїстю. При роботі з тренажером студенти самотивуються для досягнення поставленої цїлі шляхом усвідомлення важливості оптимального вирїшення поставленої задачі.

Ключові слова: віртуальний тренажер, випробувальна лабораторія, система якості, технічні вимоги, метрологічне забезпечення, випробування, студенти.

Вступ. Для досягнення необхідних програмних результатів навчання і здобуття відповідних компетентностей під час навчання необхідно мати відповідну технічну базу, що дозволяє імітувати умови реальних виробничих ситуацій. Завершення 2019-2020 навчального року і продовження навчання у 2020-2021 навчальному році виявилось надто складним. Усі заклади освіти усіх рівнів змушені були перейти на дистанційну форму навчання. За відсутності чїтких рекомендацій з боку органів управлїння закладами освіти, кожен з них змушений сам вибирати способи і засоби реалїзації дистанційної форми навчання. Для проведення лекцій є безлїч on-line платформ. Тобто, це не викликає значних труднощів. Кожен викладач сам обирає найзручніші для нього способи комунїкації зі студентами. Реалїзація практичних і семїнарських занять теж не викликає значних труднощів. Проблемним (особливо для технічних дисциплїн) є реалїзація лабораторних робіт і проведення виробничих і переддипломних практик, проходження яких заплановано на діючих підприємствах реального сектору економїки.

В статті запропоновано концепт віртуального тренажера випробувальної лабораторії призначеного для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів. Тренажер охоплює усі вимоги міжнародного стандарту ISO/IEC 17025-2017 [1] і направлений на здобуття практичних навичок розробки системи управлїння якїстю, роботи у системі управлїння якїстю та роботи у випробувальній лабораторії, в тому числі робіт з забезпечення і контролю якості випробувань, метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії, тощо.

Питанню створення і розробки віртуальних тренажерів присвячено ряд робіт, як вїтчизняних, так і закордонних авторів [2, 3, 4, 5, 6].

Зокрема, в роботі [3] розглядається проектування тренажерів для підготовки операторів складних ергатичних систем, що працюють в умовах вїтального стресу. Запропоновано методологїю середовищеорїєнтованого пїдходу до проектування навчальних середовищ, що використовує положення посткласичної ергономїки. Навчальне середовище представлєне у видї аутопоетичної системи, що само організовується і включає оператора в якості активної конструкторської ланки.

В роботі [4] формулюються основні напрямки розвитку інформаційно-освітнього середовища університету при навчанні плавскладу на базі розвитку розподіленої інфраструктури технічних і програмних комплексів, впровадження віртуальних тренажерів для моделювання умов квазіпрофесійної діяльності плавскладу. Обґрунтовується необхідність розвитку технологій e-learning для проведення практичних занять на реальному фізичному обладнанні.

В роботі [5] наводиться огляд сучасних підходів до формування адаптивних режимів в тренажерах операторів ергатичних систем. Показані обмеження класичної методології проектування адаптивних тренажерів, що використовують критерії адаптації за ефективністю виконання навчальних завдань. Запропоновано підходи до вибору способів адаптації, що враховують процеси самоорганізації навчального середовища. Актуальність даних досліджень підтверджується виникненням передпосилок до створення адаптивних тренажерних систем, в яких процес керування навчанням автоматизований [7]

Автор у [8] розглядає методологію проектування тренажерів, що містять штучні середовища діяльності. Розглянув детально проблеми математичного і педагогічного плану, що виникають при створенні проекту тренажера. Також показав особливості застосування теорії навчальних іммерсивних середовищ під час проектування тренажерів з віртуальними середовищами навчання.

Аналіз наведених і інших робіт показує, що на цей час відсутні роботи прикладного характеру, направлені на реалізацію побудови віртуальних тренажерів з підготовки фахівців у галузі випробувань, а саме майбутніх фахівців або керівників з якості випробувальних лабораторій.

Метою статті є розробка концепту віртуального тренажера випробувальної лабораторії призначеного для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів і розробка на його базі програмного забезпечення, що дає можливість реалізувати вимоги стандарту ISO/IEC 17025-2017 [1] у віртуальному середовищі.

Результати дослідження. Принципи побудови віртуальної лабораторії. Побудова «віртуальної лабораторії» здійснювалась з використанням мислєдіяльностної методології [9]. Вона може застосовуватися не тільки при організації технічних систем, тому вона узята як інструмент для проведення подальших досліджень в області управління якістю випробувань та розробки віртуальних тренажерів для навчання керуванню якістю.

Система за третім визначенням цього поняття має такі атрибути [9]:

- рівні ієрархії: підсистема, система, надсистема;
- фази: початкова (минула), основна (теперішня), заключна (майбутня);
- види функцій: допоміжна, основна, керівна.

Розповсюджуючи указане вище на систему управління якістю випробувань (система управління випробувальної лабораторії), пропонуються наступні атрибути (рис. 1).

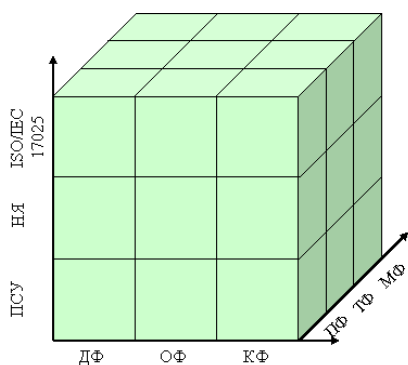


Рис. 1 Структура управління якістю, за третім визначенням поняття «система»

Рівні ієрархії визначаються рівнем встановлених вимог. Це: вимоги стандарту ISO/IEC 17025-2017 [1] – надсистема; вимоги Настанови з якості – система; вимоги процедур системи управління і форми – підсистема. Найбільш узагальнено вимоги сформульовані у ISO/IEC 17025-2017 [1], далі вони деталізуються у Настанові з якості і повністю розкриваються у процедурах системи управління і формах.

Фази визначаються послідовністю впровадження нових редакцій нормативних документів, що регламентують діяльність випробувальної лабораторії, і визначаються редакцією (версією) цих документів. Початкова – версія системи управління, що розроблена і подана на акредитацію. Основна – версія, що реалізується в теперішній час. Майбутня – версії, направлені на реалізацію постійного покращення (передбачувані вимоги).

Види функцій визначають роль окремих елементів системи управління в загальній системі. Основна функція – це випробування, тобто безпосереднє здійснення основної діяльності, що регламентується місією лабораторії. Допоміжна функція – передбачає

забезпечення процесу випробувань необхідними умовами (кваліфікований персонал, правильні умови, валідовані і верифіковані методи випробувань, тощо). Керівна функція – це контроль за діяльністю лабораторії через внутрішні аудити, аналізування з боку керівництва, керування невідповідною роботою, керування ризиками, тощо.

В залежності від встановлених вимог (ВВ) в період тієї чи іншої фази (Ф) (початкова фаза – ПФ, теперішня фаза – ТФ, майбутня фаза – МФ), основна функція (ОФ) реалізується із забезпеченням допоміжної функції (ДФ) і контролюється керівною функцією (КФ). На основі аналізу діяльності формуються передбачувані вимоги (ПВ). Отже, досягнутий результат (ДР) формується за наступною послідовністю

$$ДР = \overbrace{ \left(\begin{array}{c} ВВ \\ Ф \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} ОФ \\ КФ \end{array} \right) }^{ПВ} \begin{array}{c} ДФ \\ КФ \end{array} . \quad (1)$$

Синтез віртуального тренажера випробувальної лабораторії. У віртуальних тренажерах динаміка процесів реалізується за допомогою комп'ютерної анімації – комплексу методів відображення будь-яких об'єктів в часі. Процеси формування понять за допомогою аналізу, порівняння, виділення істотних ознак і інших логічних операцій відтворюються фахівцем, які розробляють анімацію, в образній формі, і інтерактивно виводяться на дисплей комп'ютера в суворо визначеній послідовності [10]. Мультимедійна навчально-наукова лабораторія, як правило, поєднує в собі імітаційну динамічну модель обладнання і програмну оболонку, що включає методичний супровід лабораторної роботи. Саме за такими принципами побудовано модель віртуального тренажера випробувальної лабораторії (рис. 2). Основою побудови віртуальної випробувальної лабораторії є вимоги до її структури, технічних даних (засоби вимірювальної техніки і випробувальне устаткування) та вимоги до системи якості.

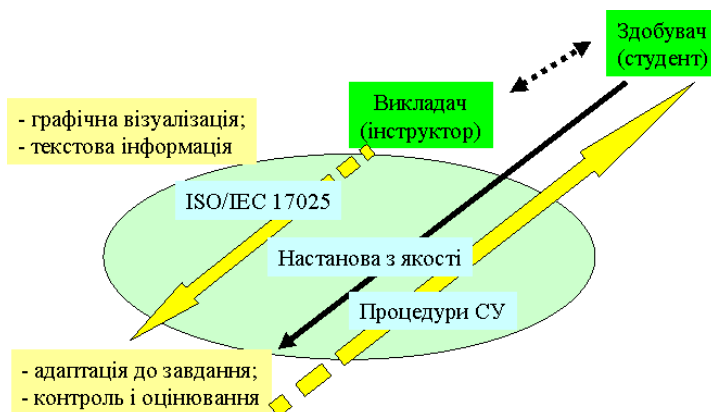


Рис. 2. Принципова схема віртуального тренажера випробувальної лабораторії (в розрізі рівнів ієрархії)

Віртуальний тренажер випробувальної лабораторії являє собою програмний комплекс, що дозволяє відтворити і реалізувати процеси управління діяльністю лабораторії без безпосереднього перебування у лабораторії. Він побудований за принципом конструюючої активності (орієнтований на середовище, посткласичний) [3] – оператор (здобувач) є активним діячем в середовищі, що реалізується тренажером. Активність суб'єкта формує його

когнітивні і операціональні структури, що сприяють досягненню певних програмних результатів навчання, які в свою чергу допомагають виконувати професійну діяльність.

Робота віртуального тренажера випробувальної лабораторії заключається у наступному. Викладач (інструктор) через інтерфейс формує завдання. Здобувач його виконує, причому тренажер реагує на дії здобувача і повідомляє йому про помилки, якщо такі виникають. Постійно іде обмін інформацією між викладачем і здобувачем. Викладач може надавати лише консультації і не може втручатись у роботу тренажера на етапі виконання завдання.

За рівнем складності завдання може бути:

– просте – виконується в розрізі одного рівня ієрархії (однієї фази, однієї функції); наприклад, скласти графік внутрішніх аудитів;

– середньої складності – виконується в розрізі комбінації рівнів ієрархії, фази або функції, причому одночасно використовується не більше трьох елементів; передбачає

залучення додаткових джерел інформації; наприклад, розробити (актуалізувати) певну процедуру системи управління;

– складне – виконується в розрізі комбінації рівнів ієрархії, фази, функції (одночасно використовується чотири і більше елементів), передбачає залучення додаткових джерел інформації і направлене на посилену активізацію логічного мислення здобувача.

– контрольні – завдання, що виконується в розрізі одного рівня ієрархії (однієї фази, однієї функції); і направлені на вирішення питання: «Чому так?», можуть передбачати залучення додаткових джерел інформації;

За функціональним призначенням завдання може бути:

– аналізування – аналіз певних ситуацій (практичні і семінарські заняття, лабораторні роботи);

– проектування – розробка певних проектних рішень системи управління (курсова робота, практика, дипломне проектування).

Характеристики основних компонент запропонованого віртуального тренажера наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз запропонованої «віртуальної лабораторії» за її функціональними показниками

Компоненти	Опис характеристик
Мета системи підготовки	Формування у студентів професійних знань, умінь і навиків. Формування здатності самостійно приймати рішення та формування індивідуальних рішень розв'язання ситуацій. Здобуття над професійних навичків (soft skills)
Здобувач (студент)	Студент самостійно приймає рішення щодо тієї чи іншої ситуації, з розробкою пропозицій. Викладач лише консулює
Викладач (інструктор)	Викладач ставить завдання в неявному виді з метою дати можливість студенту самому прийняти рішення щодо досліджуваної ситуації
Роль засобів навчання і моделювання середовища навчання	«Віртуальна лабораторія» передбачає формування ніш професійної діяльності (керівник ВЛ, керівник з якості, тощо), крім цього реалізуються професійні навички, що не пов'язані безпосередньо із професійною діяльністю (soft skills)
Зміст навчання	Робота з «віртуальною лабораторією» передбачає освоєння повного циклу роботи ВЛ
Комунікації в системі	Під час навчання студенти комунікують між собою і здатні реагувати на ситуації, запропоновані іншими учасниками навчання
Системи оцінок	Простежуваність виконання завдання. Оцінки є інтегральними і характеризують якість прийнятого рішення. Оцінки класифікуються не за принципом «вірно – не вірно», а за принципом «знайти оптимальне рішення»
Роль оцінок	Оцінки, отримані на проміжних етапах стимулюють до виконання наступних завдань і покращення уже виконаних.
Організація системи підготовки	Навчальні завдання ставляться у кожному конкретному випадку. Кожен студент має можливість вибрати свою системи організації випробувальної лабораторії
Забезпечення мотиваційної діяльності	Студенти самомотивуються для досягнення поставленої цілі шляхом усвідомлення важливості оптимального вирішення поставленої задачі
Форми взаємодії в системі «середовище – здобувач»	Середовище навчання ставить задачі і студент реагує в залежності від ситуації. Студенту дається право самостійно приймати рішення
Форма представлення навчального матеріалу	Завдання формуються «за ситуацією». Сценарії роботи випробувальної лабораторії заздалегідь не визначені

На сьогоднішній день програмний комплекс має назву «Laboratory test quality v.3 Virtual laboratory». Наразі він використовується під час навчання студентів за освітньою програмою «Професійна освіта. Метрологія, стандартизація та сертифікація».

Це віртуальна випробувальна лабораторія (що працює автономно без доступу до серверу), база даних якої наповнена (або наповнюється за завданням викладача) методами випробувань відповідно до діючих стандартів і з використанням інформації про сучасні засоби вимірювальної техніки і випробувальне устаткування, що використовуються при реалізації цих методів.

Віртуальна модель являє собою набір вікон програми, кожне з яких виконує певну функцію. Головне вікно програми показано на рис. 3.

Студенти мають можливість познайомитись з Паспортом та системою управління випробувальної лабораторії. В розділі «Паспорт» у зручному форматі можна переглянути усі форми паспорту ВЛ. При відкриванні певної форми, у вікні діалогу є кнопки з перехрестними посиланнями на форми процедур системи управління. Так, наприклад, при перегляді інформації про певне випробувальне устаткування (ВУ) або засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) форми 3 або форми 4 Паспорту, відповідно, можна переглянути інформацію про персонал, що уповноважений працювати з цим устаткуванням. Аналогічно працюють і форми перегляду нормативних документів на продукцію (форма 2.1) чи на методи випробувань (форма 2.2). Переглядаючи форму 2.2 можна переглянути інформацію стосовно того, хто із працівників уповноважений на проведення конкретного методу, яке ВУ і ЗВТ використовується, тощо.

Система управління ВЛ працює в інтерактивному режимі. Студенти мають змогу виконувати завдання, що ставить викладач. Наприклад, скласти програму калібрування ЗВТ, графік технічного обслуговування ЗВТ і ВУ, тощо. Студенти навчаються проводити внутрішні аудити, починаючи зі складання графіку аудитів на рік, програми кожного аудиту, складати опитувальні листи і т. д. до завершення аудиту, розробки коригувальних дій і відслідковування їх виконання з оцінкою ефективності.

При «роботі з замовником» студенти навчаються аналізувати заявку на випробування, формувати програму випробувань, засвоюють принципи ідентифікації і відбору зразків, тощо.

Вибравши з бази даних за завданням викладача вид продукції, випробування якої проводить лабораторія і мету її випробувань, студенти визначають нормативні документи на вимоги до неї, визначають можливі методи випробувань щодо неї, необхідні ЗВТ і ВУ, призначають випробувачів, що уповноважені на виконання відповідних робіт.

Передбачено також можливість конструювання (удосконалення) студентами інтерфейсу тренажера. Такі роботи виконуються в межах освітнього компоненту «Інформаційні технології в сфері стандартизації».

Форми роботи з тренажером наступні:

– уся група студентів діє як одна лабораторія із розподілом повноважень між студентами відповідно до віртуальних посад;

– кожному студенту дається індивідуальне завдання.

Викладач формує завдання кожному студенту відповідно до вибраного способу. В подальшому, файли створені студентами в поточному році можуть використовуватись як відправна точка для формування завдання студентам наступних років. Завдання може заключатись у розвитку бази даних, наповнення її новими засобами вимірювальної техніки, формування програм калібрування, пошуку невідповідностей у системі управління, тощо та модернізації самого програмного комплексу.

Висновки:

Мислєдіяльністьна методологія є ефективним інструментом побудови систем управління якістю. Рівні ієрархії визначаються рівнем встановлених вимог. Фази визначаються послідовністю впровадження нових редакцій нормативних документів, що регламентують діяльність випробувальної лабораторії, і визначаються редакцією (версією) цих документів. Види функцій визначають роль окремих елементів системи управління в загальній системі. Основою побудови віртуальної випробувальної лабораторії є вимоги до її структури, технічних даних (засоби вимірювальної техніки і випробувальне устаткування) та вимоги до системи якості

Запропонований віртуальний тренажер випробувальної лабораторії призначений для використання у навчальному процесі при навчанні майбутніх фахівців випробувачів. Його застосування направлене на формування у студентів професійних знань, умінь і навичок самостійно приймати рішення та формування індивідуальних рішень розв'язання ситуацій, здобуття надпрофесійних навичок (soft skills), здобуття професійних навичок роботи з нормативними документами (зокрема, стандартами), випробувальним устаткуванням, засобами вимірювальної техніки, роботи з адміністрування систем управління якістю. При роботі з тренажером студенти самотивуються для досягнення поставленої цілі шляхом усвідомлення важливості оптимального вирішення поставленої задачі.

Список використаних джерел

1. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Acting on 2018-01-01.
2. Норенков И. П., Зимин А. М. Информационные технологии в образовании. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 352 с.
3. Сергеев С. Ф. Методология проектирования тренажеров с иммерсивными обучающими средами. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011, № 1 (71). С. 109–114.
4. Фомина И. К., Тарануха С. Н. Виртуальные тренажеры при дистанционном обучении плавсостава. Интерактивная наука. 2017. Вып. 11. С. 145–148.
5. Сергеев С. Ф. Адаптивность в тренажерах. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2011, № 6 (76). С. 118–123.
6. Среда программно-технических комплексов по лабораторным практикумам удаленного доступа (e-Learning Labs Technologies: e-LLT) / П.Ф. Баранов, С.А. Горисев, И.В. Ряшенцев. Уровневая подготовка специалистов: государственные и международные стандарты инженерного образования: Сб. трудов научно-методической конференции. Томск, 2011. С. 167–169.
7. Соколов В. Н. Адаптивные тренажерные системы: проектирование и оценка. СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 160 с.
8. Сергеев С.Ф. Виртуальные тренажеры: проблемы теории и методологии проектирования. Человеко-машинные системы. 2010. № 2 (8). С. 15–20.
9. Структура системомыследеятельностного комплекса для моделирования транспортных систем / Н. Э. Тернюк и др. Механика та машинобудування. 2011. № 1. С. 141–148.
10. Процесс обучения с применением виртуального тренажера [<https://www.sunspire.ru/articles/part34/>]. Дата звернення 31.10.2020.

¹А.И. Коробко, ²В.Е. Шатихина

¹Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытаний техники и технологий для сельскохозяйственного производства имени Леонида Погорелого, Харьковский филиал

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ВИРТУАЛЬНЫЙ ТРЕНАЖЕР АККРЕДИТОВАННОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В статье предложен концепт виртуального тренажера испытательной лаборатории предназначенного для использования в учебном процессе при обучении будущих специалистов-испытателей. Тренажер построен на принципах мыследеятельностной методологии: уровни иерархии определяются уровнем установленных требований, фазы последовательностью внедрения новых редакций нормативных документов, регламентирующих деятельность испытательной лаборатории, и определяются редакцией (версией) этих документов, виды функций определяют роль отдельных элементов системы управления в общей системе. Использование предложенного тренажера направлено на формирование у студентов профессиональных знаний, умений и навыков самостоятельно

принимать решения и формирование индивидуальных решений ситуаций, получение сверхпрофессиональных навыков (*soft skills*), получение профессиональных навыков работы с нормативными документами (в частности, стандартами), испытательным оборудованием, средствами измерительной техники, работы по администрированию систем управления качеством. При работе с тренажером студенты самомотивируются для достижения поставленной цели путем осознания важности оптимального решения поставленной задачи.

Ключевые слова: виртуальный тренажер, испытательная лаборатория, система качества, технические требования, метрологическое обеспечение, испытания, студенты

¹A. Korobko, ²V. Shatihina

¹“Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production”, Kharkiv branch

²Kharkiv national automobile and highway University

VIRTUAL SIMULATOR FOR TEST LABORATORY ACCREDITED

The article proposes a concept of a virtual simulator for a testing laboratory. The virtual simulator is intended for use in the educational process during the training of test specialists. The simulator is built on the principles of thought-activity methodology. The levels of the hierarchy are determined by the level of established requirements. The phases are determined by the sequence of implementation of new editions of normative documents. These documents regulate the activities of the testing laboratory. The types of functions determine the role of individual elements of the control system in the overall system. The use of the simulator forms students' professional knowledge, abilities and skills for independent decision-making. Forms individual solutions to situations. Forms soft skills. Forms professional skills for working with standards, test equipment, measuring instruments, administration of quality management systems. Students are self-motivated, achieve the set goal, and realize the importance of the optimal solution to the task.

Keywords: virtual simulator, testing laboratory, quality system, technical requirements, metrological support, testing, students.

УДК 631.356.22

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-12

Ліннік А.Ю., Семенів І.І., Кирик О.М.

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

ГИЧКООЧИСНИЙ ПРИСТРІЙ. КОНСТРУКЦІЯ ТА КІНЕМАТИКА РУХУ

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.

Результатом дослідження є визначенні перспективи вдосконалення технології очищення гички цукрових буряків, запропоновано нову конструкцію очисної машини комбінованої дії.

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.

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 неможливо 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 % [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.

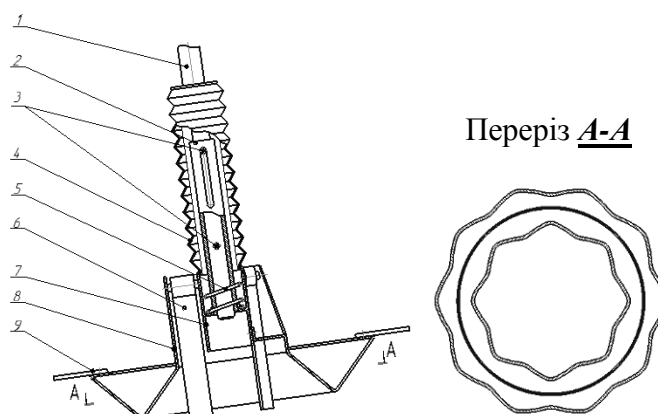


Рис.1. Пристрій для одночасного зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків [6]: 1 – вал, 2 – втулка, 3 – штифт, 4 – кожух, 5 – пружина, 6 – еластична лопать, 7 – маточина, 8 – диск, 9 – ніж.

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 послідує 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 рами, яка обладнана начіпним механізмом та опорно-копіюючими колесами (на рис не показано), на якій встановлений вал 1 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 90° обрізуючі ножі 9 та очисні еластичні лопаті 6, закріплені через 120° 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 90° обрізуючі ножі 9, та на осях, закріплених одним кінцем в диску, а іншим у втулці, еластичні очисні елементи – лопаті 6 через кожні 120° .

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 обчисування 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 пройдёт 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.

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 у відносному русі [7,8]:

$$v = wl; \quad (1)$$

де l – відповідно довжина лопаті.

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

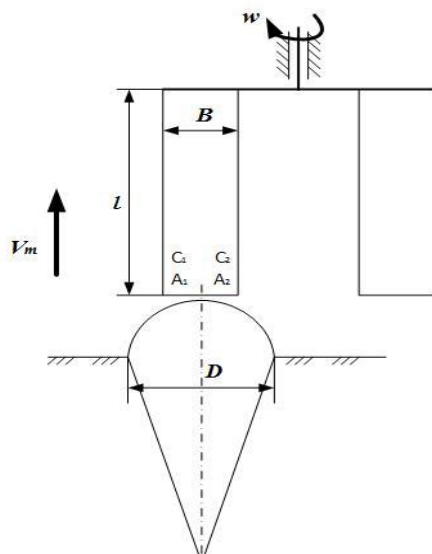


Рис.2. Загальна схема взаємодії лопаті очисника з голівкою коренеплоду

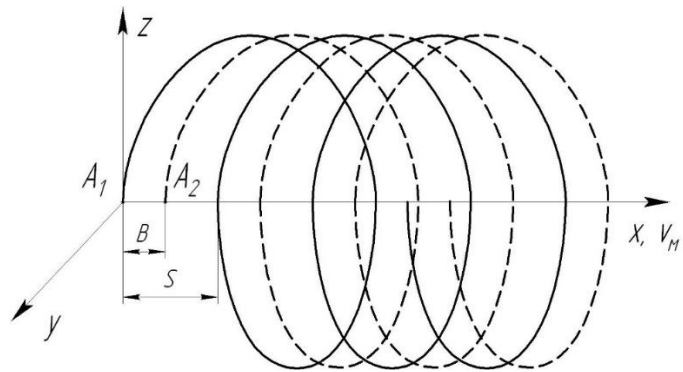


Рис. 3. Траєкторія абсолютного руху кінцевих точок лопаті очисника коренеплодів

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

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

Для запобігання пропусків контакту лопаті з голівкою кореня необхідно щоб виконувалась умова: $t_s \leq t_w$, або $\frac{2\pi}{w} \geq \frac{S}{v_m}$. 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).

Кінематичний аналіз механізму навіски доочисника з метою визначення швидкостей та прискорень які отримує механізм навіски при копіюванні мікрорельєфу поля проведено у відповідності з [8]. Для розрахунку вважаємо що нерівності мікрорельєфу поля співпадають по величині і фазі з синусоїдальною кривою, у якої довжина хвилі і амплітуда коливання рівні середньому кроку і середній амплітуді нерівностей поверхні реального поля. Таке

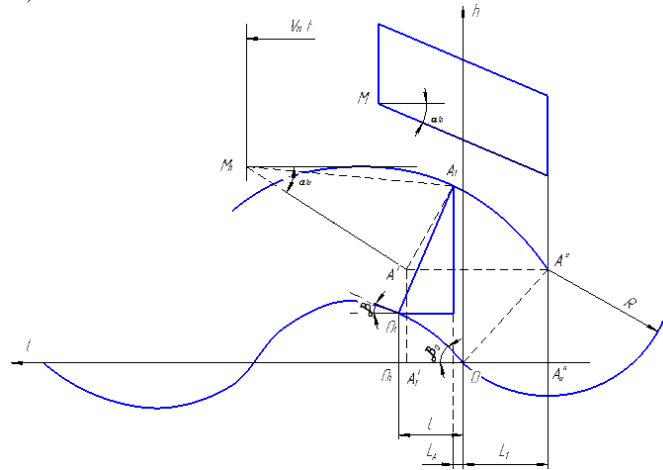


Рис. 3. Схема руху механізму навіски з опорно-копіювальними колесами.

припущення дозволяє проводити кінематичний аналіз механізму навіски без урахування впливу випадкових факторів.

При русі регулювально-опорних полозів по синусоїдальному профілю (рис 3) точка А, центр радіуса кривизни загину кінця полоза, буде рухатись по кривій, точки якої будуть рівновіддалені від синусоїди.

Прийнято, що координати початкового положення точки А будуть рівні H_0 і L_0 .

$$H_0 = OA^0 \cos \beta_0 = R \cos \beta_0 \quad (6)$$

$$L_0 = -OA^0 \sin \beta_0 = -R \sin \beta_0$$

Через проміжок часу рівний $t_1 - t_0 = t$, точка А займе положення A_1 , тоді:

$$H_1 = R \cos \beta_1 + h_1 = R \cos \beta_1 + \lambda \sin \frac{2\pi}{L} l \quad (7)$$

$$L_1 = O_0O - O_0B_0 = l_1 - O_1A_1 \sin \beta_1 = l_1 - R \sin \beta_1$$

Поточні координати точки А визначено за формулою:

$$H_A = \lambda \sin \frac{2\pi}{L} l + R \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda^2 \frac{4\pi^2}{L^2} \cos^2 \frac{2\pi}{L} l}}; \quad (8)$$

$$L_A = l - R \frac{\lambda \frac{2\pi}{L} \cos \frac{2\pi}{L} l}{\sqrt{1 + \lambda^2 \frac{4\pi^2}{L^2} \cos^2 \frac{2\pi}{L} l}}$$

У випадку, якщо точка А рухалась по прямій, паралельно осі координат, та за час t вона зміститься в положення A' і пройде шлях $A^0A' = v_M t$.

З іншого боку:

$$v_M t = L_A - L_0 + (H_A - H_0) \tan \left(\alpha - \frac{\arcsin \frac{h}{R}}{2} \right) \quad (9)$$

Підставивши сюди значення L_A, L_0, H_A і H_0 і визначивши його відносно t , отримаємо:

$$t = \frac{l + \tan \left(\alpha - \frac{\arcsin \frac{h}{R}}{2} \right) \lambda \sin \frac{2\pi}{L} l}{v_M} +$$

$$+ \frac{R}{vM} \left[\frac{\tan\left(\alpha - \frac{\arcsin\frac{h}{\rho}}{2}\right) - \lambda \frac{2\pi}{L} \cos\frac{2\pi}{L}l}{\sqrt{1 + \lambda^2 \frac{4\pi^2}{L^2} \cos^2\frac{2\pi}{L}l}} - \frac{\tan\left(\alpha - \frac{\arcsin\frac{h}{\rho}}{2}\right) - \lambda \frac{2\pi}{L}}{\sqrt{1 + \lambda^2 \frac{4\pi^2}{L^2}}} \right] \quad (10)$$

Таким чином, формули (6) та (10) є рівнянням шляху вертикального переміщення точок механізму з опорно-копіювальними колесами в залежності від часу.

Висновки. 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 лопать-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

Література.

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 A 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. Кинематический анализ паралелограмного копирующего механизма. В.С. Красовских, В.А. Заварзин. Вестник Алтайского государственного аграрного университета №1 2003г..

A. Linnik, I. Semenov, O. Kyryk

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

CLEANER OF ROOT CROPS. CONSTRUCTIONS AND CINEMATIC MODE

The natural potential of Ukraine's agricultural lands allows it to become a leader in sugar production in Europe. However, to successfully enter European markets, it is necessary to ensure the competitiveness of manufactured products, which can be achieved in various ways, in particular: improving the quality of raw materials, reducing labor costs and energy intensity of production processes.

The analysis of classical technologies of cleaning of heads of root crops and their collecting, influence of various constructive schemes of clearing devices on cleanliness of a head and integrity of a body of a root taking into account energy consumption on process is carried out. The problem of improvement of existing and invention of new designs of root cleaning machines taking into account physical and mechanical properties of contact bodies of a cleaner-root crop which quality of work would satisfy agrotechnical requirements is investigated.

The article proposes a new design of a device for cutting the bud and cleaning the heads of sugar beet roots in which combines two technological processes - cutting the stem and subsequent cleaning of the root surface with a hard disk surface and elastic whips provided copying the height of each root.

The result of the study is to determine the prospects for improving the technology of cleaning sugar beet tops, proposed a new design of a combined cleaning machine.

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

А.Ю. Линник, И.И. Семенов, О.М. Кирик

Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанский агротехнический институт»

БОТВООЧИСТИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО. КОНСТРУКЦИЯ И КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ

Природный потенциал сельскохозяйственных угодий Украины позволяет стать лидером по производству сахара в Европе. Однако, для успешного выхода на европейские рынки необходимо обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции, что можно достичь разными путями, в том числе: повышение качества сырья, снижение затрат труда и энергоёмкости процессов производства.

Проведен анализ классических технологий очистки головок корнеплодов и их сбора, влияние различных конструктивных схем очистных устройств на чистоту головки и целостность тела корня с учетом энергозатрат на процесс. Исследована проблема усовершенствования существующих и открытие новых конструкций гнущих машин с учетом физико-механических свойств тел контакта очиститель-корнеплод, качество работы которых удовлетворила бы агротехнические требования.

В статье предложена новая конструкция устройства для срезания ботвы и очистки головок корнеплодов сахарной свеклы в которой поеднано два технологических процесса - срезание ботвы и последующее доочистки поверхности головки корнеплода жесткой поверхностью диска и эластичными бичами при копировании высоты роста каждого корнеплода.

Результатом исследования является определение перспективы совершенствования технологии очистки ботвы сахарной свеклы, предложена новая конструкция очистной машины комбинированного действия.

Ключевые слова: ботва, остатки ботвы, корнеплод, сахарную свеклу, очистка, доочистка.

UDC 621.822.681.2:369.64

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-13

¹Marchuk V.I., ¹Marchuk I.V., ²Dzhuguryan T.G., ¹Grinyuk S.V., ¹Karpyuk V.O.

¹Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

²Szczecin Maritime Academy, Poland

ON THE INFLUENCE OF OPERATING CHARACTERISTICS OF GRINDED WHEELS ON THE QUALITY INDICATORS OF GRINDED PARTS

The quality of the surfaces of roller bearing parts is formed in the process of interaction of the cutting tool with the surfaces to be treated. In addition to technological factors, a significant place in providing a quality surface layer is occupied by the correct choice of grinding wheels.

The abrasive tool has different properties depending on its characteristics. When choosing an abrasive tool, it is necessary to take into account its characteristics and their suitability for a particular type of work. Stable operation of abrasive wheels depends on the correct choice of their size, characteristics and modes of operation.

The selection of grinding wheels depends on the type and properties of machined materials, power of grinding machines, spindle speed, grinding mode, requirements for accuracy and surface cleanliness and other factors that apply to the workpieces.

Depending on the accuracy requirements for machining parts made of different materials, the characteristics of abrasive wheels are selected, the main of which are hardness, grain size, bond, structure, shape, size and allowable speed.

Keywords: *granularity, grain material, hardness, grinding, tool.*

Introduction. In the technological cycle of bearing production the leading place is occupied by grinding operations of processing of surfaces of details of roller bearings. If the processes of manufacturing rolling elements consist of procurement processes and abrasive machining operations, the technological process of manufacturing bearing rings consists of procurement, turning and a number of grinding and finishing operations of abrasive machining.

The main content. Bearing manufacturing technology is a complex production process that consists of a number of basic and auxiliary operations [8]. For automated readjustment production, the typical structure of manufacturing technology remains virtually unchanged, but the technological modes, equipment, tooling are constantly changing [5], and this requires operational design and technological training.

Due to the complexity and the above features of the technological process [3], the enterprises for the manufacture of bearings operate flexible automated production [7]. Such productions include at least three main subsystems: a flexible automated production complex of the main production, a flexible automated system of technological preparation of production and an automated system of operational management, including the processes of its preparation and readjustment [8].

According to this concept, automated technological complexes (ATC) are created in production - functionally interconnected sets of automated process control system and technological object of control [5]. Flexible ATCs are built, as a rule, on a modular principle: they consist of a group of interacting modules of varying complexity, having a common coordinating control for both basic technological operations and for operations of transportation, warehousing, etc. [8].

The principles of construction and operation of automated readjustment production are based on the basic provisions of the theory of hierarchical multilevel systems, vertical decomposition with priority of external subsystems [6, 8]. These principles are complemented by the use of horizontal (aggregate) decomposition of objects and control subsystems at each level, which allows by organizing an iterative process to synthesize both individual elements and subsystems, and the production system as a whole.

A multi-layered hierarchy of solutions (levels of complexity) and organizational hierarchy are effectively used for system analysis.

An important place in automated technological complexes is occupied by control and measurement of parameters at all levels [4]. To ensure product quality, there is a need to sharply increase the level of technological accuracy, which requires further development of management and regulation, ie comprehensive development of active control, which is one of the effective methods of technological quality assurance [8].

Research results. Productivity and quality of grinding depends not only on the width of the wheel and its diameter, but also on the parameters that characterize the abrasive tool. One of the most important characteristics of an abrasive tool is the grain size (grain size) of the abrasive. Depending on the grain size, abrasives are numbered. Coarse-grained (2000 - 160 microns) have numbers from 200 to 16, they are called grinding grains. Smaller, with a grain size of 125 - 28 μm (grinding powders), denoted by numbers from 12 to 3. Micropowders with a grain size of 40 to 3 μm are denoted by numbers from M40 to M5.

Table 1.

Characteristics of grinding wheels

Grain material	Grit	Hardness	Structure	Connection
electrocorundum normal (12A, 13A, 14A, 15A)	200-125 grinding grain	Extremely hard (NT), fairly hard (DT)	1-4	ceramic (K)
electrocorundum normal (12A, 13A, 14A, 15A)	100-32 grinding grain	medium hardness (ST) (CT1, CT2, CT3)	5-6	ceramic (K) bakelite (B)
electrocorundum white (22A, 23A, 24A, 25A)	25-16 grinding grain	medium hardness (ST) (ST1- ST3)	7-8	ceramic (K) bakelite (B)

The structure of the abrasive tool is evaluated by the ratio (in%) of the volumes occupied by the abrasive grains, binder and pores. By changing these ratios, abrasive wheels of different structure and properties are obtained. There are 12 numbers of structures. The lowest number of porosities (60% grains, 40% ligaments and pores) corresponds to the largest number.

The type of grinding wheels is also characterized by the shape. Thus, the circles of the straight profile denote PP.

An important characteristic of the abrasive tool is also a binder (inorganic, organic, metallic), which unites the abrasive grains into a single whole. In practice, the tool is widely used using an inorganic binder based on refractory clay - ceramic (K), based on synthetic resin - bakelite (B), rubber and sulfur - volcanic (B). Metal binders consist of a metal base (powders Al, Cu and others) and a filler. They are used mainly in diamond wheels.

Another parameter that characterizes the abrasive tool is its hardness. This indicator determines the resistance of the binder to the removal of abrasive grains under the action of external forces. A scale has been developed that has seven hardness classes (they are also divided into several degrees): T - hard, ST - medium hardness, DT - very hard.

The high hardness of the grinding wheel is one of the causes of scorching of the surface layer of the bearing rings, which is not allowed by the technical conditions. Therefore, the grinding wheel after its selection is checked for hardness by one of the methods: acoustic (GOST 25961-83); sandblasting (GOST 18118-79); indentation of the ball (GOST 19202-80).

Promising areas in the field of grinding, which reduce the energy consumption of processing, increase productivity, as well as improve the surface layer of parts made of the above materials and, consequently, increase their life, is the use of intermittent and electroabrasive grinding.

Intermittent grinding wheels show the advantage of these grinding processes in terms of specific energy consumption, stability, preservation of cutting ability.

Grinding wheels with an intermittent cutting surface can be divided into intermittent, composite and combined. Working surface of intermittent grinding wheels developed by Yakimov OV made in the form of alternating cutting protrusions and depressions.

Based on them, it is possible to assess the effectiveness of the implementation of technological measures in the operations of mechanical abrasive processing.

One way to reduce the heat stress of the grinding process is to use wheels with low hardness. Such circles work in the mode of self-sharpening, but have a large dimensional wear, which leads to an increase in the time spent on editing the circle. Increasing the hardness of the wheel leads to the fact that the wheel operates in a constant blunting mode, which on the one hand leads to a decrease in surface roughness [4], and on the other hand to increase the tangential cutting force during grain wear and, consequently, to increase temperature in the cutting zone [6, 7, 8]. The advantage of grinding wheels of greater hardness is their high dimensional stability, which is a necessary condition during machining with high accuracy. It is necessary to develop measures

The material of the abrasive grain, the hardness and bond of the wheel depend on the material of the workpiece, its hardness, as well as the speed of rotation of the wheel. The grain size of the circle depends on the regulated parameters of the surface roughness. Liquid medium, solid lubricant or ZOR in the form of an aerosol can be used as ZOR during grinding. The choice of type and brand of ZOR is carried out in accordance with the recommendations given in the reference literature [6]. However, it should be noted that no matter how effective ZOR is used, it does not completely solve the problem of providing grinding without annealing [8, 9].

According to the general equation of the grinding process

$$s_p = s_d + s_\kappa + s_{pd}, \quad (1)$$

where SPD is the magnitude of the elastic deformations of the system.

Based on the methods of the theory of automatic control [3] using transfer functions, the transfer function of an open system, the initial value of which is the removal of the allowance sd:

$$W_p(p) = \frac{s_d(p)}{s_p(p)} = \frac{W_1(p)W_4(p)W_5(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{\kappa_1 \kappa_3 \frac{1}{p}}{1 + \kappa_1 \kappa_2 \frac{1}{p}} = \frac{\kappa_p}{1 + T_p p}, \quad (2)$$

where $\kappa_p = \kappa_3 / \kappa_2$ - transmission coefficient of the open system of the object;

$T_p = 1 / \kappa_1 \kappa_2$ - time constant of the open system of the object.

The transfer function of a closed system of the control object

$$W_{3M}(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{\kappa_{3M}}{1 + T_{3M} p}, \quad (3)$$

where $\kappa_{3M} = \kappa_p / (1 + \kappa_p) = \kappa_3 / (\kappa_2 + \kappa_3)$ - transmission coefficient of a closed system of the object;

$T_{3M} = T_p / (1 + \kappa_p) = 1 / [\kappa_1 (\kappa_2 + \kappa_3)]$ - time constant of a closed system of the object.

Thus, the transfer function of the control object for grinding the inelastic part corresponds to the aperiodic link with a time constant T_{3M} and a transfer coefficient κ_{3M} .

Cutting tool - the grinding wheel has an independent drive. For internal grinding machines, this is usually a spindle - a motor that provides a high speed with minimal vibration. The circle is mounted on a frame, which is installed in the spindle and provides rotational movement and rectilinear movement along the axis. In addition, the spindle can move at different speeds in the transverse direction.

The grinding wheel is inserted into the hole of the ring, has a speed of approximately 20 - 80 thousand rpm and during grinding makes rectilinear movements back and forth (oscillates) along the axis of the ring by an amount of approximately 2 - 6 mm. Grinding can be performed in two modes: mortise grinding - the grinding wheel is forced to feed in the direction of the grinding surface [1], and care - the grinding wheel is not fed to the grinding surface by transverse feed, and grinding is due to stress equalization in the process system arose during mortise grinding. Accordingly, grinding in the mode of care is in the nature of a "damping" process and after some time stops. According to the amount of feed mortise grinding is divided into rough and clean [9].

Characteristics of centerless grinding are shown in table 2.

Table 2

Grinding modes and operation time			
№ p / p	Grinding mode	Symbol.	One dimension.
1	part rotation speed	<i>V_{det}</i>	m / min
2	part speed	<i>ndet</i>	rpm
3	speed of rotation of the circle	<i>V_{с.кр.}</i>	m / s
4	speed of rotation of the circle	<i>ни.кр.</i>	rpm
5	number of double moves	<i>ndv.h.</i>	dw./min
6	the magnitude of the oscillation	<i>Lost</i>	mm
7	forced feed	<i>Force</i>	mm / min
8	draft feed	<i>Black.</i>	mm / min
9	clean feed	<i>Clean.</i>	mm / min
10	time for surgery	<i>Top</i>	with
11	total cycle time	<i>Tc</i>	with

An important characteristic of the abrasive tool is also a binder (inorganic, organic, metallic), which unites the abrasive grains into a single whole. In practice, the tool is widely used using an inorganic binder based on refractory clay - ceramic (K), based on synthetic resin - bakelite (B), rubber and sulfur - volcanic (B). Metal binders consist of a metal base (powders Al, Cu and others) and a filler. They are used mainly in diamond wheels.

Another parameter that characterizes the abrasive tool is its hardness. This indicator determines the resistance of the binder to the removal of abrasive grains under the action of external forces. A scale has been developed that has seven hardness classes (they are also divided into several degrees): T - hard, ST - medium hardness, DT - very hard.

The high hardness of the grinding wheel is one of the causes of scorching of the surface layer of the bearing rings, which is not allowed by the technical conditions. Therefore, the grinding wheel after its selection is checked for hardness by one of the methods: acoustic (GOST 25961-83); sandblasting (GOST 18118-79); indentation of the ball (GOST 19202-80).

Promising areas in the field of grinding, which reduce the energy consumption of processing, increase productivity, as well as improve the surface layer of parts made of the above materials and, consequently, increase their life, is the use of intermittent and electroabrasive grinding.

Intermittent grinding wheels show the advantage of these grinding processes in terms of specific energy consumption, stability, preservation of cutting ability.

Grinding wheels with an intermittent cutting surface can be divided into intermittent, composite and combined. Working surface of intermittent grinding wheels developed by Yakimov OV made in the form of alternating cutting protrusions and depressions.

Based on them, it is possible to assess the effectiveness of the implementation of technological measures in the operations of mechanical abrasive processing.

The material of the abrasive grain, the hardness and bond of the wheel depend on the material of the workpiece, its hardness, as well as the speed of rotation of the wheel. The grain size of the circle depends on the regulated parameters of the surface roughness. Liquid medium, solid lubricant or ZOR in the form of an aerosol can be used as ZOR during grinding. The choice of type and brand of ZOR is carried out in accordance with the recommendations given in the reference literature [6]. However, it should be noted that no matter how effective ZOR is used, it does not completely solve the problem of providing grinding without annealing [8, 9].

Based on the calculation and analytical method proposed by AP Sokolovsky and later developed in [7, 9] it is possible to pre-determine the amount of error that the part will have after machining. The method consists in determining the individual components of errors that depend on certain factors and their sum. The calculation takes into account the following factors that cause the corresponding errors: geometric inaccuracy of the machine ($\Delta 1$), wear of the cutting tool ($\Delta 2$), thermal deformation of the technological system ($\Delta 3$), elastic deformation of the technological system ($\Delta 4$), inaccuracy of machine adjustment ($\Delta 5$), ie determining systematic components of error.

The magnitude of the total error is generally defined as $\Delta_{am} = \Delta_c + \Delta_{sl}$, where Δ_{sl} is the algebraic sum of systematic errors; $\Delta_{CL} = \sqrt{(\Delta_{sl1})^2 + (\Delta_{sl2})^2 + (\Delta_{sl3})^2}$ - random errors determined by the uneven hardness of the material of the part (Δ_{sl1}), inaccuracy of measurements (Δ_{sl2}), variable allowance of the material of the part (Δ_{sl3}).

When summing up the errors it is necessary to take into account the type of production: single, small-scale, serial and mass. In single and small-scale productions it is necessary to consider only systematic errors (Δ_c), because machining in the conditions of such production has a number of features and the size-force factors influencing exact characteristics of details acquire essential value. The nature of production in most modern industries can be attributed to small-scale, so the magnitude of the total error can be defined as

$$\Delta_{am} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6, (4)$$

where Δ_6 - error from the gyroscopic effect.

When processing on equipment in which the stiffness of the front and rear headstock are close to each other, the error of the gyroscopic effect can be ignored, because it is close to zero.

The error defined by expression (1) is the error of the shape of the part. The geometric error represents the difference in the corresponding dimensions of the same part due to the drawing, and is included as an integral part of the total processing error and is the predominant part of 50-70% [1, 2, 3].

The technological process of grinding has a number of significant differences from the processes of cutting with a blade tool: the chaotic location and variety of a huge number of small grains on the working surface of the circle; intermittent cutting edge at the grinding wheel; irregular geometric shape of abrasive grains and the presence of rounded vertices, forming negative front cutting angles from 40 ° to 150 °; high hardness, sharpness, fragility and heat resistance of abrasive grains; the dynamic effect of each grain on the treated surface layer; high degree of heating of the processed material and shavings; high speed and small depth of cutting; dispersion (grinding) of shavings is accompanied by considerable expenses of energy for overcoming of friction (in 4-5 times more, than at milling and in 12-15 times more, than at turning).

These features affect the accuracy of processing, roughness and physical and mechanical properties of the surface layer of the metal, determine the method of analysis and research of grinding processes.

In the works [7, 11, fig. 1] grinding is considered as a process of mass very thin high-speed microcutting by individual grains of the grinding wheel. The chips are removed by a single grain in 10⁻⁴-10⁻⁵ s, ie almost instantly. Abrasive grains have different shapes and sizes, located chaotically on the periphery of the circle with different depths. Each grain cuts a groove in the metal, which corresponds to the size and shape of its protruding part. This causes the appearance of longitudinal surface irregularities, representing a set of randomly arranged protrusions and depressions. The alignment of irregularities occurs when the set of abrasive grains approaches a continuous cutting blade, which occurs when increasing the speed of the circle V_k , reducing the speed of the part V_d and longitudinal feed S_{pr} , reducing the grain size.

The decisive influence of technological parameters of working surfaces on operational properties is noted in works [1, 3, 7, 11]. For example, the presence of ripples reduces the reference area of the contact surface by 5-10 times compared to the same surface, which has only micro-roughness (roughness).



Fig.1. Working space and elements of the SASL-5D grinder

Conclusions. This paper presents theoretical and experimental studies of the dynamics of the process of intermittent grinding, in order to develop methods for selecting geometric parameters of wheels and modes of intermittent grinding for centerless circular grinding machines (mod. SASL 5D, SASL 5AD SASL125 / 1, SASL 200, etc.). A number of studies of the process of intermittent grinding were carried out and part of the general problem of improving the quality of the surfaces of the parts of the roller bearings being ground was solved. Rolling bearings as transmission elements in mechanisms for various purposes are characterized by a number of quality indicators that determine their performance properties, one of which is the accuracy and quality of rotational transmission, as well as the accuracy of fittings in connections with other elements of mechanisms.

References:

1. Marchuk V.I. Influence of technological factors on operational characteristics of roller bearings // Scientific notes: Interuniversity collection (in the direction of "Engineering Mechanics") - Lutsk: LSTU, 2003. Issue. 12. - P. 179-184.
2. Davidenko O.Y., Savin S.V. Multi-bar superfinishing of raceways of roller bearing rings // Finishing of machine parts: Interuniversity. Sat - Saratov, 1985. - P.51-54.
3. Marchuk I.V. Technological support of grinding accuracy of bearing rotation surfaces / I.B. Marchuk, A.M. Eshtevi, M.V. Oleksyn / Scientific notes: Interuniversity. zb. Lutsk National Technical University (in the field of "Mechanical Engineering"). Vip. 57. - Lutsk: Lutsk NTU, 2017. - P. 123–127.
4. Marchuk I.V. Monograph//Technological bases of ensuring and stabilizing the quality of surface rotation in machining operations // Lutsk: IVV Lutsk NTU, 2019.
5. Marchuk I.V., Marchuk V.I., Model of stabilization of high-frequency oscillating processes in a dynamic system of circular mortise grinding. Collection of scientific works. - Lutsk: LNTU, 2016. - Promising technologies and devices №9. - P.75-83.
6. V. Marchuk, T. Dzhuguryan, I. Marchuk, N. Oleksin, L. Sachkovska Technological support for smoothing of the surface layer of parts. Advanced Technologies and Devices, 97-102.
7. Dzhuguryan T.G., Marchuk V.I., Marchuk I.V. Calculation oscillations of various elements of the elastic system of the center-free grinding machine SASL 5AD. Promising technologies and devices №16, 2020, Lutsk NTU - Articles 160-166
8. T.G. Dzhuguryan, I.V. Marchuk. Features of centerless grinding of cylindrical surfaces of functional purpose by intermittent grinding wheels. Promising technologies and devices, 115-118.
9. T.G. Dzhuguryan, V.I. Marchuk, I.V. Marchuk, M.V. Oleksyn, L.O. Sachkovskaya. Before determining the conditions for lowering the temperature of centerless grinding by discontinuous wheels. Prospective technologies and devices in 2018 №13, P. 48-52.

10. Marchuk VI Technological bases of quality assurance of working surfaces of roller bearing rings [Text]: dis ... Dr. techn. Sciences: 05.02.08 / Marchuk Victor Ivanovich; Lutsk state. Technical University - Lutsk, 2004. - 458 sheets + add. : 150 sheets. - arch. 430-458

11. V. Marchuk, D.Sc., T. Dzhuguryan, D.Sc., I. Marchuk, Ph.D, L. Sachkovska. The effect of temperature on the grinding surface quality ring roller. Promising technologies and devices №15 2019, Lutsk NTU. Pp. 58-62.

¹Марчук В.І. д.т.н. проф., ¹Марчук І.В. к.т.н. доцент, ²Джугурян Т.Г., д.т.н., проф.,
¹Гринюк С.В., асистент, ¹Карпюк В.О., (аспірант).

¹Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

²Щецінська Морська академія, Польща

ПРО ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФОВАНИХ КРУГІВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ШЛІФУЮТЬСЯ

Якість поверхонь деталей роликотидшипників формується в процесі взаємодії різального інструменту з поверхнями, які підлягають обробленню. Окрім технологічних чинників, значне місце в забезпеченні якісного поверхневого шару, посідає правильний вибір шліфувальних кругів.

Абразивний інструмент володіє різними властивостями залежно від його характеристик. При виборі абразивного інструменту необхідно враховувати його характеристики і відповідність їх для конкретного виду робіт. Стабільна робота абразивних кругів залежить від правильного вибору їх розмірів, характеристики і режимів роботи.

Підбір шліфувальних кругів залежить від виду і властивостей оброблюваних матеріалів, потужності шліфувальних машин, частоти обертання шпинделя, режиму шліфування, вимог до точності та чистоти поверхні й інших факторів, які висуваються до оброблюваних деталей.

У залежності від вимог точності до оброблення деталей з різних матеріалів підбираються характеристики абразивних кругів, основними з яких є твердість, зернистість, зв'язка, структура, форма, розміри і допустима швидкість обертання.

Ключові слова: зернистість, матеріал зерна, твердість, шліфування, інструмент.

¹Марчук В.И., д.т.н., проф., ¹Марчук И.В., к.т.н. доцент, ²Джугурян Т.Г., д.т.н., проф.

¹Гринюк С.В., асистент., ¹Карпюк В.О., аспирант.

¹Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина

²Щецинская морская академия, Польша

О ВЛИЯНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАННЫХ КРУГОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ, ЧТО ШЛИФУЮТСЯ

Качество поверхностей деталей роликотидшипников формируется в процессе взаимодействия инструмента с поверхностями, которые подлежат обработке. Кроме технологических факторов, значительное место в обеспечении качественного поверхностного слоя, занимает правильный выбор шлифовальных кругов.

Абразивный инструмент обладает различными свойствами в зависимости от его характеристик. При выборе абразивного инструмента необходимо учитывать его характеристики и соответствие их для конкретного вида работ. Стабильная работа абразивных кругов зависит от правильного выбора их размеров, характеристики и режимов работы.

Подбор шлифовальных кругов зависит от вида и свойств обрабатываемых материалов, мощности шлифовальных машин, частоты вращения шпинделя, режима шлифовки, требований к точности и чистоты поверхности и других факторов, которые предъявляются к обрабатываемых деталей.

В зависимости от требований точности до обработки деталей из различных материалов подбираются характеристики абразивных кругов, основными из которых являются твердость, зернистость, связи, структура, форма, размеры и допустимая скорость вращения.

Ключевые слова: зернистость, материал зерна, твердость, шлифовка, инструмент.

УДК 681.5

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-14

Мороз С.А., Селепина Й.Р., Приступа С.О., Король О.О.

Луцький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДАНИХ В GSM КАНАЛІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. В статті проведений аналіз мобільного зв'язку стандарту GSM, зокрема розглянута функціональна будова і інтерфейси взаємодії між структурними елементами стільникової мережі. Для розуміння принципу роботи зв'язку за стандартом GSM наведена структурна схема якій представлені центр комутації мобільного зв'язку (MSC), обладнання базової станції (BSS), центр управління та обслуговування (OMC), мобільні станції (MS). Розглянуті основні алгоритми забезпечення конфіденційності і безпеки даних мобільних абонентів, оскільки GSM канал має свої способи захисту, а також місця вразливості. Зокрема виділено наступні небезпечні види атак, до яких чутливі абоненти стільникових мереж: сніффінг; витік персональних даних; витік даних про місцезнаходження; спуфінг; віддалене захоплення SIM-карти, виконання довільного коду (RCE); відмова в обслуговуванні (DoS). Встановлено, що необхідною функцією мобільної мережі є ідентифікація абонентів, що виконується за IMSI, який записаний в SIM-карті абонента і HLR оператора. Для захисту від спуфінга, мережа виконує аутентифікацію абонента перед тим, як почати його обслуговування. У випадку підтвердження справжності абонента, відбувається захист як абонента так і мережевого оператора від впливу шахрайського доступу. Крім цього користувач повинен бути захищений від підслуховування. Це досягається шляхом шифрування даних, переданих по радіоінтерфейсу.

Ключові слова: стандарт GSM, функціональні компоненти мережі, аутентифікація абонента, шифрування даних, радіо інтерфейс.

Вступ. Стандарт GSM для стільникових мобільних мереж був розроблений Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI) і визнаний найбільш надійним і масовим по використанню в засобах телекомунікації та мобільного зв'язку. За приблизними підрахунками, число абонентів даного виду зв'язку в Україні та Європі складає понад 500 млн.

Функціональна будова і інтерфейси, прийняті в стандарті GSM, ілюструються за допомогою структурної схеми (рис. 1), на якій MSC (Mobile Switching Centre) - центр комутації мобільного зв'язку; BSS (Base Station System) - обладнання базової станції (БС); OMC (Operations and Maintenance Centre) - центр управління та обслуговування; MS (Mobile Stations) - мобільні станції (МС). Функціональне поєднання елементів системи здійснюється за допомогою декількох інтерфейсів. Всі мережеві функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють відповідно до системи сигналізації MCE-T.

Центр комутації мобільного зв'язку обслуговує групу сот і забезпечує всі види з'єднань, які необхідні в процесі роботи МС. MSC являє собою інтерфейс між фіксованими мережами (PSTN, PDN, ISDN і т.д.) і мережею мобільного зв'язку. Він забезпечує маршрутизацію викликів і функції управління викликами. Крім виконання функцій звичайної комутаційної станції ISDN, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів. До них відносяться "естафетна передача", в процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні мобільної станції із соти в соту, і переключення робочих каналів в соті при появі перешкод або несправності. Кожен MSC забезпечує обслуговування мобільних абонентів, розташованих в межах певної географічної зони (наприклад, обласний центр і область). MSC управляє процедурами встановлення виклику і маршрутизації. MSC складає також статистичні дані, необхідні для контролю роботи і оптимізації мережі. MSC підтримує також процедури безпеки, які застосовуються для управління доступами до радіоканалів.

HLR є довідковою базою даних про постійно прописаних в мережі абонентів. У ній містяться розпізнавальні номери та адреси, а також параметри автентичності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінгу абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер мобільного абонента (TMSI) і відповідний VLR. До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ всі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є кілька HLR, в базі даних міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR являє собою певну частину загальної бази даних мережі

про абонентів. Доступ до бази даних про абонентів здійснюється за номером IMSI або MSISDN (номеру мобільного абонента в мережі ISDN). До бази даних можуть отримати доступ MSC або VLR, що відносяться до інших мереж, в рамках забезпечення міжмережевого роумінгу абонентів.

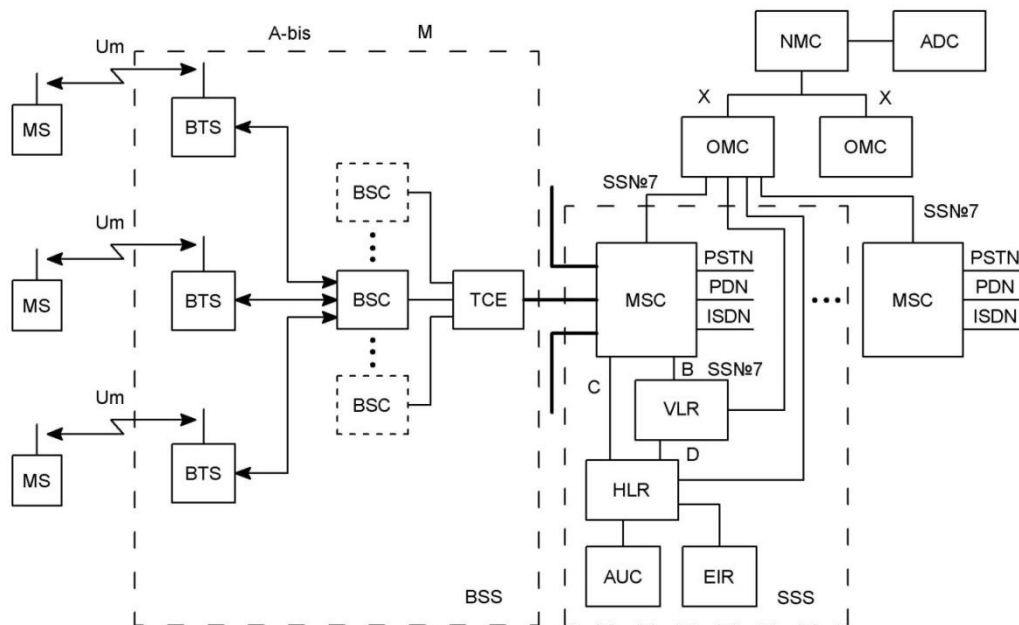


Рис. 1. Функціональна будова і інтерфейси стандарту GSM

VLR містить такі ж дані, як і HLR, проте ці дані містяться в VLR тільки до тих пір, поки абонент знаходиться в зоні, контрольованій VLR. У мережі мобільного зв'язку GSM стільники групуються в географічні зони (LA), яким присвоюється свій ідентифікаційний номер (LAC). Кожен VLR містить дані про абонентів декількох LA. Коли мобільний абонент переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місцезнаходження автоматично оновлюються в VLR. Якщо стара і нова LA перебувають під управлінням різних VLR, то дані на старому VLR стираються після їх копіювання в новий VLR. Поточна адреса VLR абонента, що міститься в HLR, також оновлюється.

EIR - реєстр ідентифікації устаткування, містить централізовану базу даних для підтвердження автентичності міжнародного ідентифікаційного номера обладнання мобільної станції (IMEI). Ця база даних відноситься виключно до обладнання мобільної станції. База даних EIR складається зі списків номерів IMEI, організованих таким чином: «Білий список» - містить номери IMEI, про яких є відомості, що вони закріплені за санкціонованими мобільними станціями. «Чорний список» - містить номери IMEI мобільних станцій, які вкрадено або яким відмовлено в обслуговуванні з іншої причини. «Сірий список» - містить номери IMEI мобільних станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення до "чорного списку". До бази даних EIR отримують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших мобільних мереж.

OMC - центр експлуатації і технічного обслуговування, є центральним елементом мережі GSM, який забезпечує контроль і управління іншими компонентами мережі та контроль якості її роботи. OMC з'єднується з іншими компонентами мережі GSM каналами пакетної передачі протоколу X.25. OMC забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для оповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в інших компонентах мережі. Залежно від характеру несправності OMC дозволяє забезпечити її усунення автоматично або при активному втручанні персоналу. OMC може забезпечити перевірку стану обладнання мережі та проходження виклику мобільної станції. OMC дозволяє здійснювати управління навантаженням в мережі. Функція ефективного управління включає збір статистичних даних про навантаження від компонентів мережі GSM, записи їх в дискові файли та виведення на дисплей для візуального аналізу. OMC забезпечує управління змінами програмного забезпечення і базами даних про конфігурацію елементів мережі. Завантаження програмного забезпечення в пам'ять може проводитися з OMC в інші елементи мережі або з них в OMC.

NMC - центр управління мережею, дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне

управління мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію і технічне обслуговування на рівні всієї мережі, підтримуваної центрами ОМС, які відповідають за управління регіональними мережами. NMC забезпечує управління графіком у всій мережі і забезпечує диспетчерське управління мережею при складних аварійних ситуаціях, як наприклад, вихід з ладу або перевантаження вузлів. Крім того, він контролює стан пристроїв автоматичного управління, задіяних в устаткуванні мережі, і відображає на дисплеї стан мережі для операторів NMC. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми і, при необхідності, надавати допомогу ОМС, які відповідають за конкретний регіон. Таким чином, персонал NMC знає стан всієї мережі і може дати вказівку персоналу NMC змінити стратегію рішення регіональної проблеми.

BSS - обладнання базової станції, складається з контролера базової станції (BSC) і приймально-передавальних базових станцій (BTS). Контролер базової станції може керувати кількома приймально-передавальними блоками. BSS управляє розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їх черговість, забезпечує режим роботи зі змінною частотою, модуляцію і демодуляцію сигналів, кодування і декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику [4, 5].

Розглянемо основні алгоритми забезпечення конфіденційності і безпеки даних мобільних абонентів, оскільки GSM канал має свої способи захисту, а також місця вразливості.

Експериментальні результати та їх обговорення. Проаналізуємо основні вектори атак [5]. Оскільки GSM-інтерфейс є радіоінтерфейсом, весь його трафік «видно» будь-кому, що знаходиться в радіусі дії BTS. Причому аналізувати дані, що передаються через радіоефір, можна навіть не виходячи з дому, використовуючи спеціальне обладнання і персональний комп'ютер.

Виділяють два види атаки: пасивна та активна. У першому випадку атакуючий ніяк не взаємодіє ні з мережею, ні з абонентом, що атакується - виключно прийом і обробка інформації. Виявити таку атаку майже не можливо, але її перспектив у неї не так багато, як у активної. Активна атака має на увазі взаємодію атакуючого з абонентом, що атакується і / або мережею.

Можна виділити найбільш небезпечні види атак, до яких чутливі абоненти стільникових мереж: сніффінг – використання програми або пристрою для перехоплення і аналізу мережевого трафіку; витік персональних даних, SMS і голосових дзвінків; витік даних про місцезнаходження; спуфінг (FakeBTS або IMSI Catcher) – в контексті безпеки мережі, це випадок, коли особа або програма маскується під іншу за допомогою фальсифікації даних, і тим самим отримує незаконну перевагу; віддалене захоплення SIM-карти, виконання довільного коду (RCE); відмова в обслуговуванні (DoS).

Необхідною функцією мобільної мережі є ідентифікація абонентів, що виконується за IMSI, який записаний в SIM-карті абонента і HLR оператора. Ідентифікація мобільних телефонів виконується за серійним номером - IMEI. Однак, після аутентифікації ні IMSI, ні IMEI у відкритому вигляді по мережі «не літають». Після процедури Location Update абоненту присвоюється тимчасовий ідентифікатор - TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity), і подальшу взаємодію здійснюється саме з його допомогою. В ідеальному випадку, TMSI абонента відомий тільки мобільному телефону і мережі. Однак, існують і способи обходу такого захисту. Якщо циклічно дзвонити абоненту або відправляти SMS-повідомлення, спостерігаючи за каналом PCN і виконуючи кореляцію, можна з певною точністю виділити TMSI абонента, що атакується. Крім того, маючи доступ до мережі міжопераційної взаємодії SSN^o7, за номером телефону можна дізнатися IMSI і LAC його власника. Проблема в тому, що в мережі SSN^o7 всі оператори «довіряють» один одному, тим самим знижуючи рівень конфіденційності даних своїх абонентів.

Для захисту від спуфінга, мережа виконує аутентифікацію абонента перед тим, як почати його обслуговування (рис. 2).

Використання пароля (або PIN-код - персонального ідентифікаційного цифрового коду) - один з простих методів аутентифікації. Він дає дуже низький рівень захисту в умовах використання радіозв'язку. Досить почути цей персональний код всього лише один раз, щоб обійти засоби захисту. Насправді GSM використовує PIN-код в поєднанні з SIM (Subscriber Identify Module): даний PIN-код перевіряється на місці самим SIM без передачі в ефір.

Крім IMSI, в SIM-карті зберігається випадково згенерована послідовність, що називається «Кі», яку вона повертає тільки в хешированому вигляді. Також Кі зберігається в

HLR оператора і ніколи не передається у відкритому вигляді. В цілому, процес аутентифікації заснований на принципі «чотиристороннього рукостискання»: 1. Абонент виконує Location Update Request, потім надає IMSI. 2. Мережа надсилає псевдовипадкове значення RAND. 3. SIM-карта телефону хешує Ki і RAND за алгоритмом A3. $A3(RAND, Ki) = SRAND$. 4. Мережа теж хешує Ki і RAND за алгоритмом A3. 5. Якщо значення SRAND з боку абонента збіглося з обчисленим на стороні мережі, значить абонент пройшов аутентифікацію (рис. 2.).

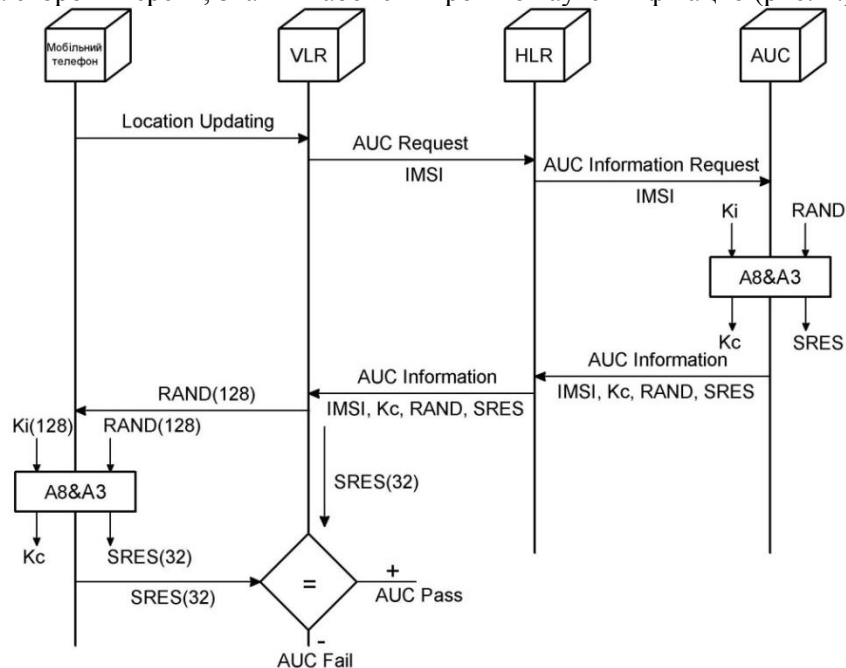


Рис.2. Обчислення аутентифікації

Для того щоб досягти необхідного рівня безпеки, алгоритм A3 має бути односпрямованою функцією, як її називають експерти криптографи. Це означає, що обчислення SRES при відомих Ki і RAND має бути простим, а зворотна дія - обчислення Ki при відомих RAND і SRES - має бути максимально ускладненою. Безумовно, саме це і визначає в кінцевому підсумку рівень безпеки. Значення, що обчислюється за алгоритмом A3, повинно мати довжину 32 біта. Ki може мати будь-який формат і довжину. Криптографічні методи дають можливість за допомогою відносно простих засобів домогтися високого рівня безпеки. У GSM використовуються єдині методи для захисту всіх даних, будь то інформація для користувача, передача сигналів, пов'язаних з користувачем (наприклад, повідомлень, в яких містяться номери телефонів, що викликаються), або навіть передача системних сигналів (наприклад, повідомлень, що містять результати радіовимірювань для підготовки до передачі). Необхідно усвідомлювати різницю тільки між двома випадками: який зв'язок виявляється захищеним (тоді всю інформацію можна відправляти в зашифрованому вигляді), який зв'язок є незахищеним (тоді вся інформація відправляється у вигляді незашифрованої цифрової послідовності).

Як тільки справжність абонента була перевірена, таким чином захищаючи і абонента і мережевого оператора від впливу шахрайського доступу, користувач повинен бути захищений від підслуховування. Це досягається шляхом шифрування даних, переданих по радіоінтерфейсу, з використанням другого ключа Kc і спочатку секретного алгоритму A5 (рис. 3).

Kc генерується в ході перевірки автентичності, використовуючи Ki, RAND і секретний алгоритм A8, який також зберігається на SIM-карті. Подібно до алгоритму A3, A8 не унікальний, і він може також бути обраний оператором. Ключі Kc для кожного користувача обчислюються AuC домашньої мережі і передаються в VLR у складі набору триплетів, де кожному триплету i, відповідно – ключу Kc, присвоюється номер ключа – CKSN. У деяких реалізаціях алгоритми A3 і A8 об'єднані в єдиний алгоритм A38, який використовує RAND і Ki, щоб згенерувати Kc і SRES. На відміну від A3 і A8, які, можливо, різні для кожного індивідуального оператора, A5 вибирається з списку із 7 можливих варіантів.

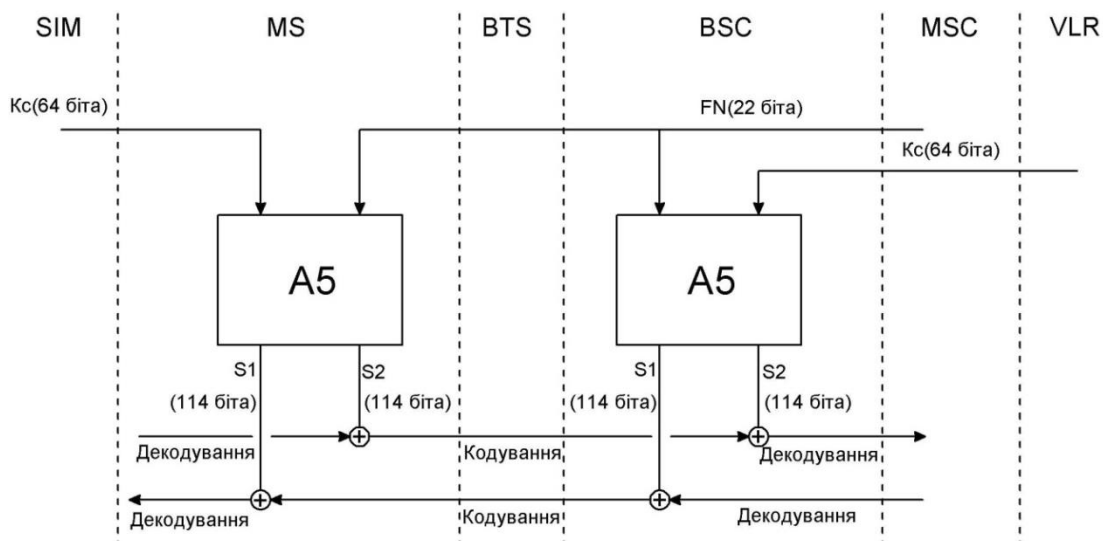


Рис.3. Шифрування і розшифрування в стандарті GSM

Перед шифруванням відбувається фаза переговорів, в ході якої визначається, яка версія A5 буде використана. Якщо мережа і мобільна станція не мають загальних версій A5, зв'язок має продовжитися у відкритому режимі або з'єднання повинне бути розірвано. Алгоритм A5 використовує 64-бітний ключ Kc і 22-бітний номер TDMA кадру для обчислення двох 114-бітних слів шифрування – BLOCK1 і BLOCK2, що використовуються при передачі і прийомі відповідно. Слова шифрування – EXORed зі 114 бітами даних в кожній послі. Оскільки зашифровані дані обчислені, використовуючи номер TDMA кадру, то слова змінюються від послі до послі і не повторюються протягом гіперфрейма (приблизно 3,5 години).

Перед тим, як почати шифрування, мобільна станція (MS) відправляє в VLR номер ключа шифрування CKSN, який зберігається в її пам'яті з моменту останньої процедури аутентифікації. CKSN не містять секретних даних, а служить лише для того, щоб MS могла повідомити мережі, який ключ Kc вона «пам'ятає». Після цього VLR відправляє в MS команду на включення шифрування і передає в базову станцію (BTS) ключ Kc з того триплету, який відповідає номеру CKSN, отриманого від MS. Таким чином між MS і VLR досягається домовленість про вибір ключа шифрування без передачі самого ключа по радіоінтерфейсу.

Особливо варто відзначити, що в наземному каналі передачі дані передаються по проводах в незашифрованому вигляді, і перехоплення інформації йде саме з них.

Висновки. Отже, на GSM-інтерфейс може здійснюватися зовнішній вплив. Серед найбільш небезпечних видів атак виділяють: сніффінг; витік персональних даних, СМС і голосових дзвінків; витік даних про місцезнаходження; спуфінг; віддалене захоплення SIM-карти; відмова в обслуговуванні (DoS).

Для захисту GSM-користувача мережа виконує аутентифікацію абонента перед тим, як почати його обслуговування та здійснює шифрування даних, переданих по радіоінтерфейсу, з використанням ключа Kc і секретного алгоритму A5.

Інформаційні джерела

1. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов / В.В. Крухмалёв, Н.В. Гордиенко, А.Д. Моченов и др.; под. ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалёва. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 510 с.
2. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. - М.: Эко-Трендз, 2001.
3. Системы мобильной связи: учебное пособие для вузов / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; под ред. В.П. Ипатова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003. - 272 с.
4. Кирилов В.И. Многоканальные системы передачи: учебник / В.И. Кирилов. - 2-е изд. - М.: Новое знание, 2003. - 751 с.

Мороз С.А., Селепина Й.Р., Приступа С.А., Король А.А.

Луцкий национальный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ В GSM КАНАЛЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Аннотация. В статье проведен анализ мобильной связи стандарта GSM, в частности рассмотрено функциональное строение и интерфейсы взаимодействия между структурными элементами сотовой сети. Для понимания принципа работы связи по стандарту GSM приведена структурная схема которой представлены центр коммутации подвижной связи (MSC), оборудование базовой станции (BSS), центр управления и обслуживания (OMC), мобильные станции (MS). Рассмотрены основные алгоритмы обеспечения конфиденциальности и безопасности данных мобильных абонентов, поскольку GSM канал имеет свои способы защиты, а также места уязвимости. В частности выделены следующие опасные виды атак, к которым чувствительны абоненты сотовых сетей: сниффинг; утечка персональных данных; утечка данных о местонахождении; спуфинг; удаленный захват SIM-карты, выполнение произвольного кода (RCE) отказ в обслуживании (DoS). Установлено, что необходимой функцией мобильной сети является идентификация абонентов, выполняется IMSI, который записан в SIM-карте абонента и HLR оператора. Для защиты от спуфинга, сеть выполняет аутентификацию абонента перед тем, как начать его обслуживания. В случае подтверждения подлинности абонента происходит защита как абонента так и сетевого оператора от воздействия мошеннического доступа. Кроме этого пользователь должен быть защищен от подслушивания. Это достигается путем шифрования данных, передаваемых по радиointерфейсу.

Ключевые слова: стандарт GSM, функциональные компоненты сети, аутентификация абонента, шифрование данных, радиointерфейс.

Moroz S., Selepina Y., Pristupa S., Korol O.

Lutsk National Technical University

FEATURES OF DATA SECURITY IN THE GSM MOBILE CHANNEL

Abstract. The article analyzes the mobile communication of the GSM standard, in particular, considers the functional structure and interfaces of interaction between the structural elements of the cellular network. To understand the principle of communication according to the GSM standard, a block diagram of the Mobile Switching Center (MSC), base station equipment (BSS), control and service center (MCC), mobile stations (MS). The main algorithms for ensuring the confidentiality and security of mobile subscribers' data are considered, as the GSM channel has its methods of protection, as well as vulnerabilities. In particular, the following dangerous types of attacks to which cellular network subscribers are sensitive have been identified: sniffing; leakage of personal data; leakage of location data; spoofing; remote SIM card capture, execution of arbitrary code (RCE); denial of service (DoS). It is established that the necessary function of the mobile network is the identification of subscribers, which is performed by IMSI, which is recorded in the SIM-card of the subscriber and the HLR of the operator. To protect against spoofing, the network authenticates the subscriber before starting its service. In the case of authentication of the subscriber, both the subscriber and the network operator are protected from the effects of fraudulent access. In addition, the user must be protected from eavesdropping. This is achieved by encrypting the data transmitted over the radio interface.

Keywords: GSM standard, network functional components, subscriber authentication, data encryption, radiointerface.

УДК 621.923

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-15

Новіков¹ Ф. В., д. т. н., Полянський² В. І., к. т. н.¹Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, м. Харків, Україна²ТОВ «Імперія металів», м. Харків, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ТЕМПЕРАТУРНИМ КРИТЕРІЄМ

В роботі розглянуто питання підвищення якості механічної обробки за температурним критерієм складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості. Виконано чисельні розрахунки параметрів теплового процесу при шліфуванні, в якому припуск, що знімається, представлено набором адіабатичних стержнів, які перерізаються шліфувальним кругом. Встановлено, що час нагрівання адіабатичного стержня може бути до 10 разів менше часу його контакту з кругом при шліфуванні. Це пов'язано з тепловим насиченням поверхневого шару оброблюваної деталі. Доведено, що основна частка тепла, яка утворюється при шліфуванні, йде в стружки. Показано, що урахування перерізання адіабатичного стержня шліфувальним кругом забезпечує зменшення температури різання більш ніж в два рази. Це дозволяє по-новому підходити до вибору оптимального часу контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю й, відповідно, параметрів режиму шліфування та характеристик круга, виходячи з обмежень за температурою різання. Показано, що домогтися ще більшого зменшення температури різання можна в умовах лезової обробки сучасними збірними твердосплавними й керамічними ріжучими інструментами зі зносостійкими покриттями.

Ключові слова: шліфування, лезова обробка, формуюча оснастка, температура різання, якість обробки, ріжучі інструменти зі зносостійкими покриттями.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливішими науковими і практичними задачами. Із застосуванням на підприємствах України сучасних металорізальних верстатів з ЧПУ типу «обробний центр» зарубіжного виробництва та прогресивних збірних ріжучих твердосплавних і керамічних лезових інструментів зі зносостійкими покриттями з'явилася можливість суттєвого підвищення якості, точності й продуктивності обробки, виготовлення високоточних деталей машин. У зв'язку з цим в даний час на машинобудівних підприємствах України відбувається технічне переозброєння виробництва новими технологіями механічної обробки, обладнанням і ріжучими інструментами. В результаті продукція, що виготовляється, за якістю й собівартістю стає цілком конкурентоспроможною на економічних ринках. Це відкриває нові перспективи створення вискоефективної машинобудівної продукції.

Як показує практика, не зважаючи на високу вартість сучасних імпорتنних металорізальних верстатів та інструментів, вони досить швидко окупаються й забезпечують високий прибуток підприємству. Особливо це відноситься до виготовлення складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості в ВАТ «Імперія металів» (м. Харків), який є лідером серед провідних учасників даного ринку. Його частка складає понад 50% виробництва оснастки серед країн СНД. Завдяки застосуванню нових сучасних металорізальних верстатів з ЧПУ та ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями освоєно виробництво основних видів формуючої оснастки для харчової промисловості. Разом з тим, із застосуванням нових важкооброблюваних матеріалів і підвищенням вимог до якості, точності й продуктивності механічної обробки формуючої оснастки виникає необхідність подальшого вдосконалення технологій її виготовлення. Актуальною стає проблема науково обґрунтованого вибору умов підвищення якості та продуктивності обробки за рахунок зниження теплової й силової напруженостей механічної обробки та, відповідно, зниження температури різання.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Відомі аналітичні рішення щодо визначення температури різання при шліфуванні та лезовій обробці отримані на основі використання класичного диференціального рівняння теплопровідності матеріалів для сталого й несталого в часі режимів різання [1 – 4]. Це відкрило нові можливості науково обґрунтованого аналізу умов зменшення температури різання й відповідно підвищення якості та продуктивності обробки. Однак отримані рішення справедливі для цілком конкретних методів механічної обробки й не

дозволяють однозначно з єдиних позицій встановити температуру різання при шліфуванні та лезовій обробці.

В роботах [5, 6] запропоновано теоретичний підхід до аналітичного розрахунку температури різання при шліфуванні з урахуванням перерізання адіабатичних стержнів шліфувальним кругом. Щоб уточнити отримане рішення, в даній роботі поставлено задачу чисельного розрахунку температури різання при шліфуванні з урахуванням перерізання адіабатичних стержнів шліфувальним кругом на основі аналітичної залежності для визначення глибини проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі при шліфуванні, тобто глибини проникнення тепла в розглянутий адіабатичний стержень [6]:

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}, \quad (1)$$

де τ – час нагріву адіабатичного стержня при його перерізання, с.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування умов суттєвого підвищення якості механічної обробки на основі зменшення температури різання на фінішних операціях.

Викладення основного матеріалу. Для зручності розрахунків рівномірний рух теплового джерела уздовж адіабатичного стержня зі швидкістю V_{pi3} слід розглядати періодичним з кроком $V_{pi3} \cdot d\tau$, де $d\tau$ – нескінченно малий час, с. Тоді глибина проникнення тепла в адіабатичний стержень за час $d\tau$ визначиться:

$$l_{2_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau}. \quad (2)$$

У зв'язку з перерізанням частини адіабатичного стержня довжиною $V_{pi3} \cdot d\tau$ глибина проникнення тепла в адіабатичний стержень зменшується на величину $V_{pi3} \cdot d\tau$ й дорівнює:

$$l_{2_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau} - V_{pi3} \cdot d\tau = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_1}, \quad (3)$$

де τ_1 – час нагрівання адіабатичного стержня при його перерізання на величину $V_{pi3} \cdot d\tau$, с.

$$\text{За умови } \alpha = \frac{V_{pi3} \cdot d\tau}{l_{2_0}} < 1 \text{ маємо: } \tau_1 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau} - V_{pi3} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot (1 - \alpha)^2.$$

Як видно, справедлива умова $\tau_1 < d\tau$, що призводить до зменшення параметра l_{2_1} :

$$l_{2_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot d\tau \cdot (1 - \alpha)^2} = l_{2_0} \cdot (1 - \alpha). \quad (4)$$

При другому кроці переміщення теплового джерела на величину $V_{pi3} \cdot d\tau$:

$$l_{2_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_1)} - V_{pi3} \cdot d\tau = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_2}. \quad (5)$$

Звідки

$$\tau_2 = \frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_1)} - V_{pi3} \cdot d\tau \right)^2 = d\tau \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_1}{d\tau}} - \alpha \right)^2. \quad (6)$$

Аналогічно визначено:

$$l_{2_n} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_n} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot (d\tau + \tau_{n-1})} - V_{pi3} \cdot d\tau; \quad (7)$$

$$\frac{\tau_n}{d\tau} = \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_{n-1}}{d\tau}} - \alpha \right)^2, \quad (8)$$

де τ_n, τ_{n-1} – час нагрівання адіабатичного стержня при його перерізанні, відповідно, на величини $n \cdot V_{piз} \cdot d\tau$ й $(n-1) \cdot V_{piз} \cdot d\tau$, с.

Безрозмірна величина α може змінюватися в межах: $0 \dots 1$. У випадку $\alpha = 0,2$ залежність (8) набуває вигляду:

$$\frac{\tau_n}{d\tau} = \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_{n-1}}{d\tau}} - 0,2 \right)^2. \quad (9)$$

Початкове значення $\tau_1 / d\tau$ визначається із залежності (9) і дорівнює 0,64. Виходячи із залежності (9), отримано $\tau_2 / d\tau = 1,1677$. Після підстановки в залежність (9) даного значення отримано: $\tau_3 / d\tau = 1,6187$. На рис. 1 наведено розрахункові значення $\tau_n / d\tau$, які зі збільшенням кількості кроків n безперервно збільшуються, асимптотично наближаючись до певних сталих (максимальних) значень.

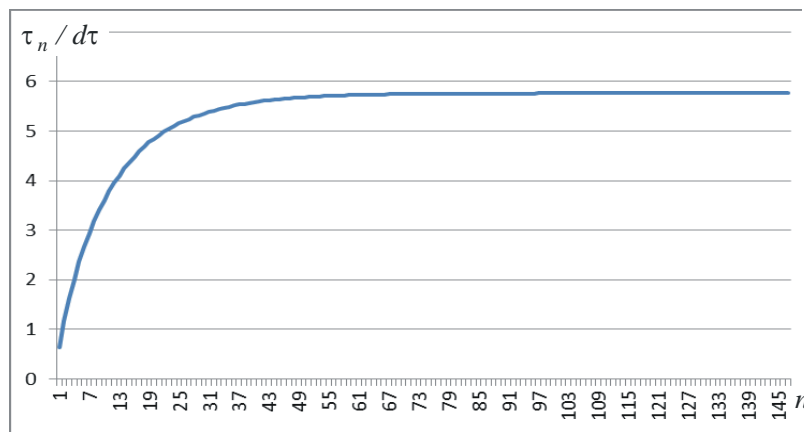


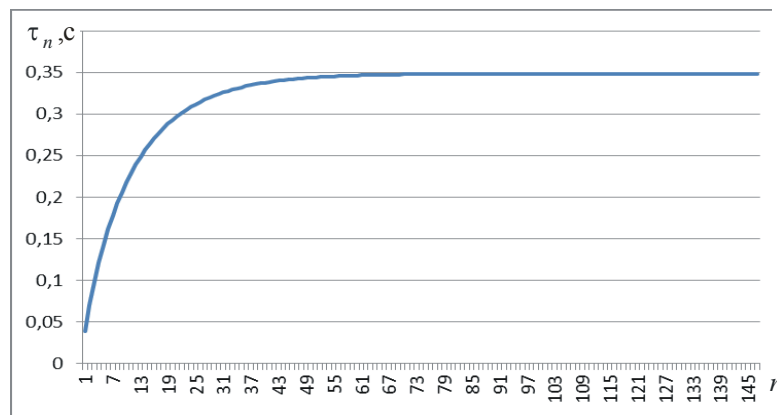
Рис. 1. Залежність $\tau_n / d\tau$ від n

Для визначення значення τ_n необхідно знати значення $d\tau$, яке можна встановити із

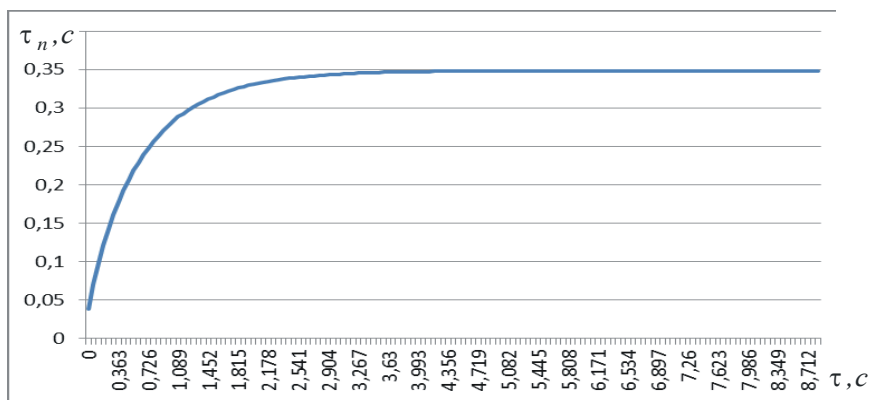
залежності $\alpha = \frac{V_{piз} \cdot d\tau}{l_{20}}$. Тоді $d\tau = \frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\alpha}{V_{piз}} \right)^2$.

Приймаючи вихідні дані для шліфування сталі ШХ15: коефіцієнт температуропровідності $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $V_{piз} = 3,33 \text{ мм/с}$; $\alpha = 0,2$, отримано: $d\tau = 0,0605$ с.

На рис. 2 наведено розрахункові значення τ_n , які отримані шляхом множення значень $\tau_n / d\tau$ на значення $d\tau = 0,0605$ с з використанням програмного продукту Компас 3D. Як видно, розрахункові значення τ_n (аналогічні значенням $\tau_n / d\tau$) зі збільшенням кількості кроків n безперервно збільшуються, асимптотично наближаючись до певних сталих (максимальних) значень.

Рис. 2. Залежність τ_n від n

На рис. 3 показано характер зміни часу нагріву адіабатичного стержня при його перерізанні τ_n від часу контакту шліфувального круга з адіабатичним стержнем (часу перерізання шліфувальним кругом адіабатичного стержня) $\tau = n \cdot d\tau$. У цьому випадку зі збільшенням часу τ час τ_n змінюється аналогічно залежності τ_n від n (рис. 2).

Рис. 3. Залежність τ_n від τ

Отриманий результат показує на те, що час нагрівання адіабатичного стержня може бути значно менше (до 10 разів) часу його контакту з шліфувальним кругом при шліфуванні. Тому запропонований теоретичний підхід, заснований на урахуванні перерізання адіабатичних стержнів шліфувальним кругом в процесі шліфування, дозволяє уточнити відомі рішення й наблизити розрахункову схему шліфування до реальних умов обробки. Виходячи із залежності для визначення роботи шліфування $A = N \cdot \tau$ (де N – потужність шліфування, Вт), відношення τ_n / τ дорівнює відношенню кількості тепла, що йде в адіабатичний стержень в процесі його перерізання шліфувальним кругом, до загальної кількості тепла, що виділяється в процесі шліфування. Отже, зі збільшенням часу τ кількість тепла, що йде в адіабатичний стержень (в поверхневий шар оброблюваної деталі), зменшується, а кількість тепла, що йде в стружки, що утворюються, збільшується. Розрахунками встановлено, що в цьому випадку частка тепла, яка йде в адіабатичний стержень, приймає достатньо малі значення – всього кілька відсотків. Це надзвичайно важливий результат, який вказує на можливість забезпечення високоякісної обробки в умовах високопродуктивного глибинного шліфування, яке характеризується достатньо великими значеннями часу контакту шліфувального круга з адіабатичним стержнем τ .

Очевидно, в умовах багатопрхідного шліфування, яке характеризується достатньо малими значеннями часу τ , відношення τ_n / τ приймає значення, близькі до одиниці. У цьому випадку фактично все тепло, яке утворюється в процесі шліфування, йде в адіабатичний стержень, тобто в оброблювану деталь. В стружки йде невелика частка тепла. За певних умов обробки це може призвести до утворення на оброблюваній поверхні різних температурних

дефектів, що має місце на операціях шліфування. Тому для визначення оптимальних умов шліфування з точки зору забезпечення високоякісної та високопродуктивної обробки необхідно знати оптимальне відношення τ_n/τ , при якому температура різання при шліфуванні не перевищує граничне значення.

Використовуючи розрахункові значення часу нагріву адіабатичного стержня при його перерізання τ_n , на рис. 4 наведено розрахункові значення глибини проникнення тепла в адіабатичний стержень $l_{2n} = \sqrt{2a \cdot \tau_n}$ при шліфування сталі ШХ15 (коефіцієнт температуропровідності $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

Як видно, зі збільшенням часу контакту шліфувального круга з адіабатичним стержнем τ до певного значення параметр l_{2n} досягає граничного значення, що відповідає стану теплового насичення поверхневого шару оброблюваної деталі, й залишається постійним. Отримане рішення вказує, по-перше, на можливість суттєвого зменшення параметра l_{2n} в умовах багато-прохідного шліфування, яке характеризується невеликими значеннями часу, що дозволяє забезпечити високоякісну обробку. По-друге, вказує на можливість суттєвого збільшення продуктивності обробки в умовах глибинного шліфування, коли збільшення часу τ не призводить до збільшення параметра l_{2n} й зниження якості обробки.

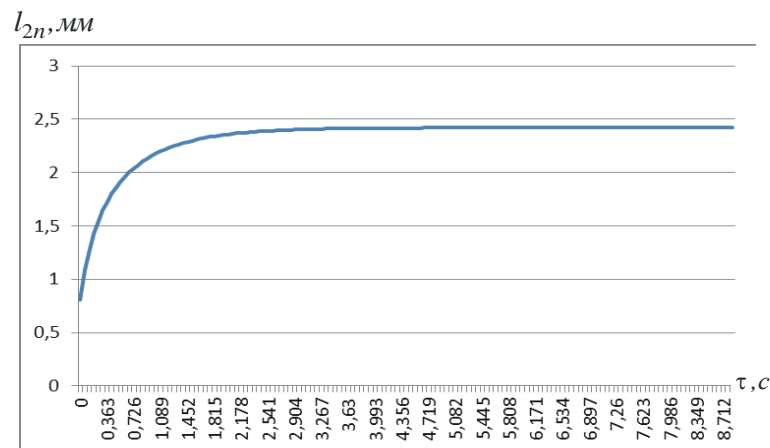
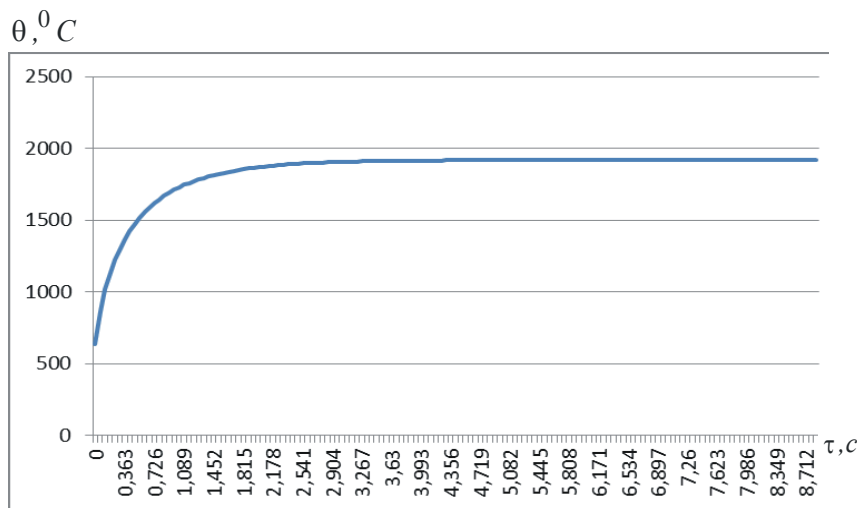


Рис. 4. Залежність l_{2n} від τ

Для остаточного прийняття рішення про вибір оптимального відношення τ_n/τ необхідно знати характер зміни температури шліфування θ від часу τ . Тому, використовуючи розрахункові значення l_{2n} , на рис. 5 наведено розрахункові значення температури шліфування $\theta = q \cdot l_{2n} / \lambda$, отримані з урахуванням залежностей для визначення щільності теплового потоку $q = \sigma \cdot V_{piz}$ (Вт/м²) та умовного напруження різання $\sigma = 2 \cdot \sigma_{cm} / K_{piz}$ (Н/м²) [6], де $\sigma = 2\sigma_{cm} / K_{piz}$; σ_{cm} – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу (для сталі ШХ15: $\sigma_{cm} = 2000 \text{ Н/мм}^2$); $K_{piz} = 0,4$ – коефіцієнт різання при шліфуванні. Тоді $\sigma = 1010 \text{ Н/м}^2$. Швидкість різання $V_{piz} = 3,33 \text{ мм/с}$, коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу $\lambda = 42 \text{ Вт/(м}\cdot\text{градус)}$.

При лезовій обробці можна ще значніше зменшити температуру різання за рахунок зменшення умовного напруження різання $\sigma = 2 \cdot \sigma_{cm} / K_{piz}$, оскільки коефіцієнт різання K_{piz} приймає значно більші значення, ніж при шліфуванні. Для цього необхідно забезпечити високу різальну здатність інструменту, наприклад, за рахунок нанесення на його робочі поверхні зносостійких покриттів, які зменшують знос інструменту та інтенсивність тертя в зоні різання.

Рис. 5. Залежність θ від часу τ

Як видно, зі збільшенням часу контакту шліфувального круга з адіабатичним стержнем τ температура різання при шліфуванні θ спочатку збільшується до певного значення, потім стабілізується й залишається постійною. Отже, з точки зору забезпечення високопродуктивної обробки доцільно застосовувати глибинне шліфування, що характеризується невеликими значеннями відношення τ_n / τ . При цьому необхідно стабілізувати температуру різання при шліфуванні θ на заданому рівні, який викликає термічне руйнування оброблюваного матеріалу. Однак, найбільш просто реалізувати задану температуру різання при шліфуванні θ можна в умовах багатопрохідного шліфування, тобто при відносно невеликих значеннях відношення τ_n / τ , що і передбачає широке застосування на практиці цієї схеми шліфування. В цьому випадку можна гарантовано забезпечити високі показники якості та продуктивності обробки.

При лезовій обробці можна ще значніше зменшити температуру різання за рахунок зменшення умовного напруження різання $\sigma = 2 \cdot \sigma_{ст} / K_{різ}$, оскільки коефіцієнт різання $K_{різ}$ приймає значно більші значення, ніж при шліфуванні. Для цього необхідно забезпечити високу різальну здатність інструмента, наприклад, за рахунок нанесення на його робочі поверхні зносостійких покриттів, які зменшують знос інструменту та інтенсивність тертя в зоні різання. Це дозволить підвищити якість обробки, вилучити утворення на оброблених поверхнях виробів температурних дефектів. У ряді випадків це дозволить також відмовитися від процесу шліфування й остаточну обробку проводити ріжучими лезовими інструментами, наприклад, сучасними збірними твердосплавними й керамічними ріжучими інструментами зі зносостійкими покриттями закордонного виробництва, що підтверджується їх широким застосуванням на операціях фінішної механічної обробки складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості [7,8].

Таким чином встановлено, що урахування руху теплового джерела уздовж адіабатичного стержня в процесі шліфування дозволило уточнити відоме рішення про характер зміни параметрів l_2 і θ зі збільшенням часу τ та виявити нові закономірності їх формування, пов'язані з досягненням стану температурного насичення поверхневого шару оброблюваної деталі й стабілізацією в часі параметрів l_2 і θ . Це відкриває нові технологічні можливості інтенсифікації процесу механічної обробки за умови одночасного забезпечення високої якості оброблюваних поверхонь. Отримані теоретичні рішення можуть бути використані для удосконалення процесів шліфування та лезової обробки на фінішних операціях.

Висновки. В роботі розглянуто питання підвищення якості механічної обробки за температурним критерієм складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості. Виконано чисельні розрахунки параметрів теплового процесу при шліфуванні. Визначено час нагрівання адіабатичних стержнів, якими умовно представлений припуск, що знімається, та які перерізаються шліфувальним кругом в процесі шліфування. Встановлено, що час нагрівання адіабатичного стержня може бути до 10 разів менше часу його контакту з шліфувальним кругом при шліфуванні. Це пов'язано з тим, що час нагрівання адіабатичного стержня з часом

обробки збільшується, асимптотично наближаючись до максимального значення, що визначається умовою теплового насичення поверхневого шару оброблюваної деталі. Розрахунками встановлено, що за таким самим законом змінюються температура різання й глибина проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної деталі, що дозволяє оцінити товщину дефектного шару оброблюваної деталі. Доведено, що значна частка тепла, яка утворюється при шліфуванні, надходить до стружки, що утворюються, а в оброблювану деталь надходить менша частка тепла. Показано, що урахування перерізання адіабатичного стержня шліфувальним кругом забезпечує зменшення температури різання більш ніж в два рази. Це дозволяє по-новому підходити до вибору оптимального часу контакту шліфувального круга з оброблюваною деталлю й, відповідно, параметрів режиму шліфування та характеристик круга, виходячи з обмежень за температурою різання. Показано, що домогтися ще більшого зменшення температури різання можна в умовах лезової обробки сучасними збірними твердосплавними й керамічними ріжучими інструментами зі зносостійкими покриттями. Це досягається за рахунок забезпечення високої різальної здатності інструмента та зменшення його зносу й інтенсивності тертя в зоні різання.

Перспективи подальшої роботи в даному напрямку. В подальших дослідженнях необхідно теоретично й експериментально визначити температуру різання, яка виникає при обробці сучасними лезовими ріжучими збірними твердосплавними й керамічними ріжучими інструментами зі зносостійкими покриттями, та обґрунтувати умови її зменшення з ціллю забезпечення високоякісної обробки деталей машин.

Інформаційні джерела

1. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Моделирование систем: монография / Г. А. Оборский, А. Ф. Дашенко, А. В. Усов и др. – Одесса: Астропринт, 2013. – 664 с.
3. Сизый Ю. А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю. А. Сизый, Д. В. Сталинский. – Харьков: ГП УкрНТЦ "Энергосталь", 2016. – 448 с.
4. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С. С. Силин, В. А. Хрульков, А. В. Лобанов, Н. С. Рыкунов. – Москва : Машиностроение, 1984. – 62 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2003. – Т. 2. "Теплофизика резания материалов". – 625 с.
6. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки: монография / Ф. В. Новиков. – Д. : ЛИРА, 2018. – 400 с.
7. Полянский В. И. Расчет температуры шлифования с учетом баланса тепла, уходящего в стружку и обрабатываемую деталь / В. И. Полянский // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 13 / редкол.: В. О. Федорович (голова) [та ін.]. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – С. 51-59.
8. Полянский В. И. Условия повышения качества механической обработки деталей из высокопрочных хрупких материалов / В. И. Полянский // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 118. – С. 178–184.

Новиков¹ Ф. В., д. т. н., Полянский² В. И., к. т. н.

¹Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецова, г. Харьков, Украина

²ООО «Империя металлов», г. Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ

В работе рассмотрены вопросы повышения качества механической обработки по температурному критерию сложнопрофильной формирующей оснастки для пищевой промышленности. Выполнены численные расчеты параметров теплового процесса при шлифовании, в котором снимаемый припуск представлен набором адиабатических стержней, которые перерезаются шлифовальным кругом. Установлено, что время нагревания

адиабатического стержня может быть до 10 раз меньше времени его контакта с кругом при шлифовании. Это связано с тепловым насыщением поверхностного слоя обрабатываемой детали. Доказано, что основная доля тепла, которое образуется при шлифовании, уходит в стружки. Показано, что учет перерезания адиабатического стержня шлифовальным кругом обеспечивает уменьшение температуры резания более чем в два раза. Это позволяет по-новому подходить к выбору оптимального времени контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью и, соответственно, параметров режима шлифования и характеристик круга, исходя из ограничений по температуре резания. Показано, что добиться еще большего уменьшения температуры резания можно в условиях лезвийной обработки современными сборными твердосплавными и керамическими режущими инструментами с износостойкими покрытиями.

Ключевые слова: *шлифование, лезвийная обработка, формирующая оснастка, температура резания, качество обработки, режущие инструменты с износостойкими покрытиями.*

Novikov¹ F. V., Doctor of Technical Sciences, **Polyansky² V. I., Ph.D.**

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

²LLC "Empire of metals", Kharkiv, Ukraine

DETERMINATION OF CONDITIONS FOR IMPROVING THE QUALITY OF MACHINING BY TEMPERATURE CRITERIA

The paper considers the issue of improving the quality of machining according to the temperature criterion of complex forming equipment for the food industry. Numerical calculations of the parameters of the thermal process during grinding are performed, in which the removed allowance is represented by a set of adiabatic rods, which are cut by a grinding wheel. It is established that the heating time of the adiabatic rod can be up to 10 times less than the time of its contact with the circle during grinding. This is due to the thermal saturation of the surface layer of the workpiece. It is proved that the main part of the heat generated during grinding goes to the chips. It is shown that taking into account the cutting of the adiabatic rod by the grinding wheel provides a reduction of the cutting temperature more than twice. This allows a new approach to choosing the optimal contact time of the grinding wheel with the workpiece and, accordingly, the parameters of the grinding mode and the characteristics of the wheel, based on the limitations of the cutting temperature. It is shown that it is possible to achieve even greater reduction of cutting temperature in the conditions of blade processing by modern prefabricated hard-alloy and ceramic cutting tools with a wear-resistant covering.

Keywords: *grinding, blade processing, forming equipment, cutting temperature, processing quality, cutting tools with wear-resistant coatings.*

УДК 630.383

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-16

Рудько І.М., к.т.н., Бакай Б.Я., к.т.н., Баріляк В.В., к.т.н.

Національний лісотехнічний університет України

ВИЗНАЧЕННЯ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ РАДІУСІВ КРИВИХ ДІЛЯНОК ТРАС ТЕХНОЛОГІЧНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЛІСОПРОМИСЛОВОГО ТА ЛІСОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто проблему технічного обліку й паспортизації мереж технологічних автодоріг лісогосподарських підприємств України. Зазначено потребу встановлення у польових умовах фактичних параметрів наявних лісових шляхів, оскільки не на усіх галузевих підприємствах є необхідна достовірна технічна інформація. Також з загальної проблеми виділено її складову частину, обумовлену потребою оперативного визначення характеристик планів трас наявних лісових доріг, зокрема й радіусів кривизни кривих ділянок.

У процесі аналізу публікацій результатів наукових досліджень за даною тематикою встановлено, що у суміжних галузях для визначення радіусів горизонтальних кривих ділянок доріг апробовано ряд методів, що мають певні переваги й недоліки у конкретних природно-виробничих умовах і різні значення показників точності, вартості, безпечності й простоти використання. Для визначення радіусів кривих ділянок трас лісових автодоріг рекомендовано використовувати метод фіксації кутів відхилення хорд, який є достатньо точним для інженерних розрахунків й не потребує застосування спеціального устаткування. З використанням запропонованого методу й наявних на підприємстві вимірювальних засобів проведено експериментальні дослідження. На основі набутого досвіду сформовано рекомендації щодо раціонального організування робіт у польових умовах.

Ключові слова: метод фіксації кутів відхилення хорд, вимірювання, радіус, інструмент, лісова дорога.

Постановка проблеми. На тепер перед лісовим господарством і лісопромисловим виробництвом України постають актуальні проблеми планування розвитку мереж лісових доріг й розроблення оптимальних схем транспортного освоєння лісових масивів. На перших етапах цих процесів необхідно у польових умовах встановити фактичні параметри ряду показників для наявних автомобільних доріг чи шляхів для інших спеціалізованих видів наземного транспорту [1, 2] (на галузевих підприємствах технічні паспорти є не для всіх лісових доріг, окрім того, не в усіх технічних паспортах на інженерні споруди відображена достовірна інформація про фактичний стан їх технічних елементів).

Тому на етапах дорожньої реконструкції або паспортизації у виробничих умовах часто виникає потреба визначення основних технічних параметрів наявних об'єктів дорожньої інфраструктури загалом та характеристик розгорнутого (умовного) плану траси окремої ділянки лісового шляху зокрема [3, 4]. Одним з основних елементів, котрий характеризує криві ділянки плану лісової дороги, є радіус кривизни (стала величина для колових кривих і змінна – для перехідних) [5].

Також згідно з вимогами [6] під час виконання польових робіт необхідно систематично встановлювати сумарну протяжність доріг з радіусами кривих, які є меншими, ніж допустимі для даної категорії (типу) лісової дороги. При цьому радіуси кривих ділянок трас рекомендовано встановлювати за проектною і робочою документацією, а у разі її відсутності – з застосуванням геодезичних інструментів (методи та засоби вимірювання зазначеною інструкцією не регламентовані).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення радіусів колових ділянок трас лісових доріг у польових умовах використовують ряд методів, що мають певні переваги й недоліки у конкретних природно-виробничих умовах і різні значення показників точності, вартості, безпечності й простоти використання.

Найпростішим чином [7, 8] радіус колової кривої R визначають залежно від висоти сегмента кола f_n , стягнутого хордою l (рис. 1),

$$R = \frac{f_n}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot f_n} . \quad (1)$$

Оскільки перший доданок у формулі (1) є значно меншим, порівняно з другим доданком, то зазвичай цією величиною під час інженерних розрахунків нехтують, вважаючи, що $f_n/2 \rightarrow 0$. Тому на практиці для визначення радіуса здебільшого використовують формулу

$$R \approx \frac{l^2}{8 \cdot f_n} .$$

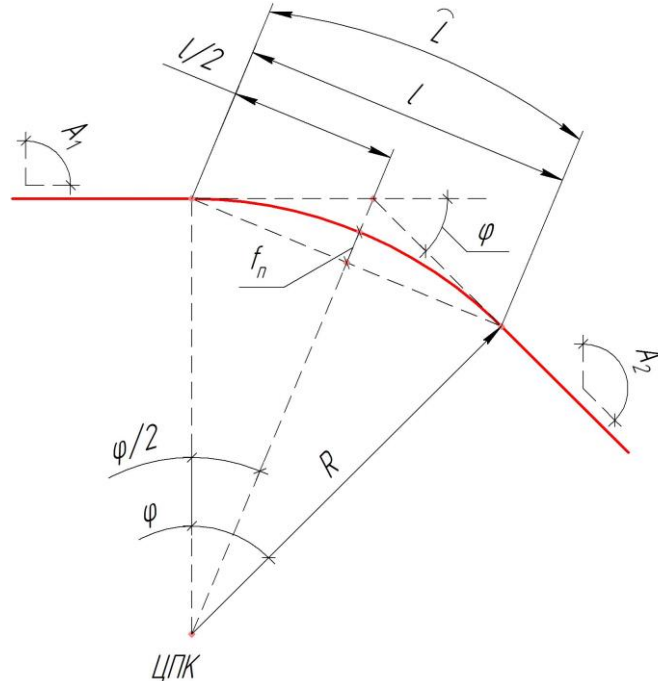


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення радіуса колової кривої R залежно від висоти сегмента кола f_n , стягнутого хордою l (ЦПК – центр повороту кривої)

Довжину хорди l приймають рівною 10...30 м залежно від величини радіуса R й довжини кривої ділянки траси \hat{L} . Процедуру вимірювання повторюють для декількох різних точок на дорозі (зазвичай приймають не менш як 5 опорних станцій, рівновіддалених одна від одної) й в кінцевому результаті обчислюють середнє арифметичне з розрахованих значень R .

Недоліками такого методу визначення радіуса колової кривої R є потреба залучення кількох (двох-трьох) людей до процесу вимірювання параметрів траси автодороги, можливі труднощі під час визначення положення осьової лінії (за умови відсутності твердого покриття), доцентрове зміщення стрічки між опорними станціями, а також визначальний вплив на результати обчислень ймовірних неточностей вимірювання серединного зміщення f_n .

Іншим поширеним методом визначення радіуса кривої R є достатньо простий щодо організування й технічного забезпечення так званий метод компаса [8, 9]. Суть цього методу полягає у вимірюванні довжини кривої проїзної частини \hat{L} з одночасною фіксацією зміни напрямку руху. Довжину кривої ділянки дороги \hat{L} зазвичай визначають вимірювальним колесом (курвіметром, одометром). Напрямок руху по кривій (азимуту) у такому разі фіксують компасом (рис. 1). Зміну напрямку руху характеризує кут φ (град.), який визначають залежно від чверті й різниці азимутів A_2 та A_1 (у кінцевій та початковій точках).

Згодом радіус кривої R обчислюють згідно з формулою ($57,3^0 \approx 180^0 / \pi$)

$$R = 57,3^0 \cdot \frac{\hat{L}}{\varphi} . \quad (2)$$

З практичного погляду у польових умовах легше і безпечніше проводити вимірювання такими приладами як компас і вимірювальне колесо, ніж мірною стрічкою (з винесенням її частини за межі полотна дороги). Крім того, для процесу вимірювання у такому разі не потрібно залучати інших людей й немає потреби виходити на узбіччя чи переміщатись за його зовнішні межі.

Недоліком такого методу визначення радіуса колової кривої R є точність вимірювань (азимуту на місцевості зазвичай визначають з точністю 1° (інколи $0,5^\circ$), а довжину кривої ділянки дороги \widehat{L} – з точністю $2 \dots 10 \text{ см} / 100 \text{ м}$).

Відомою є розроблена в Техаському транспортному інституті мобільна система "Радіусметр", яка дозволяє фіксувати параметри процесу проходження транспортним засобом горизонтальних кривих плану, обробляти дані GPS в автоматичному режимі за допомогою мікроконтролера й обраховувати значення локального радіуса кривої ділянки шляху [8]. Таку мобільну систему можна встановити на будь-якому транспортному засобі, що рухатиметься з довільною швидкістю, зокрема й у звичному потоці руху машин.

Аналогічні мобільні системи (але здебільшого на базі смартфонів), які оснащені давачами GPS, гіроскопами й акселерометрами для фіксування зміни доцентрового прискорення об'єкта у режимі реального часу, використовують в ряді країн під час формування детальних баз даних інвентаризації проїзних селищних доріг загального користування [10, 11, 12].

Перевагою таких мобільних систем є можливість опрацювання великих масивів інформації й використання їх як альтернативних технологій до основних методик, а недоліками – точність отриманих результатів (особливо для відомчих автодоріг з перехідним та нижчим типами покриття й нерівностями поверхні дорожнього одягу), технологічна складність і вартість (як для неспеціалізованих підприємств).

У роботі [8] також наведені результати експериментальних досліджень й аналіз основних десяти комбінованих методів визначення радіусів горизонтальних кривих ділянок трас сільських доріг у польових умовах стосовно їх точності, вартості, безпечності й простоти використання. У цій праці зокрема наведено важливий висновок про те, що для різних підприємств і служб (як-от транспортних агентств, експертів з технічного розслідування дорожньо-транспортних пригод, катастроф та аварій на автомобільному транспорті, інженерів, проєктантів і будівельників, науковців-дослідників у галузі транспорту тощо) прийнятними є різні методи, що обумовлено кінцевою метою й прийнятним рівнем точності та затрат.

Постановка завдання. Зважаючи на потребу оперативного визначення у польових умовах радіусів кривизни кривих ділянок трас технологічних автомобільних доріг лісопромислового та лісогосподарського призначення, а також з урахуванням рівня технічного оснащення вітчизняних лісогосподарських підприємств, особливостей виконання робіт неспеціалізованими бригадами й ланками робітників, обґрунтувати теоретичні засади, методологічний підхід і рекомендації щодо раціонального організування вищезазначених робіт у польових умовах.

Викладення основного матеріалу. Раціональним для визначення у рівнинних та горбистих умовах лісоексплуатації (а також за сприятливих обставин й у гірських умовах) радіусів кривих ділянок трас лісових доріг є застосування методу фіксації кутів відхилення хорд (рис. 2а), який є достатньо точним для інженерних розрахунків й не потребує використання спеціального устаткування. В інженерній практиці ряду зарубіжних країн [4] послуговуються модифікованими версіями цього методу з використанням довідкових даних, зведених в таблиці залежно від радіуса кривої R (користування такими табличними базами даних не завжди є достатньо зручним).

Для безпосереднього вимірювання кутів відхилення хорд у польових умовах раціонально використовувати спеціальні компаси або інші прилади, для вимірювання відстаней на місцевості – рулетки чи мірні стрічки.

Теоретичною основою застосування вищезазначеного методу є такий підхід. Відповідно до рис. 2б кут при основі рівнобедреного трикутника становить $90^\circ - \varphi / 2$ (оскільки сума кутів трикутника рівна 180°)

$$90^\circ - \varphi / 2 + 90^\circ - \varphi / 2 + \varphi = 180^\circ .$$

Також відповідно до наведених даних

$$90^\circ - \varphi / 2 + 90^\circ - \varphi / 2 + \beta_2 - \beta_1 = 180^\circ ,$$

де β_1, β_2 – кути відхилення хорд, град.

Звідси величина центрального кута φ становитиме

$$\varphi = \beta_2 - \beta_1 = \Delta\beta. \quad (3)$$

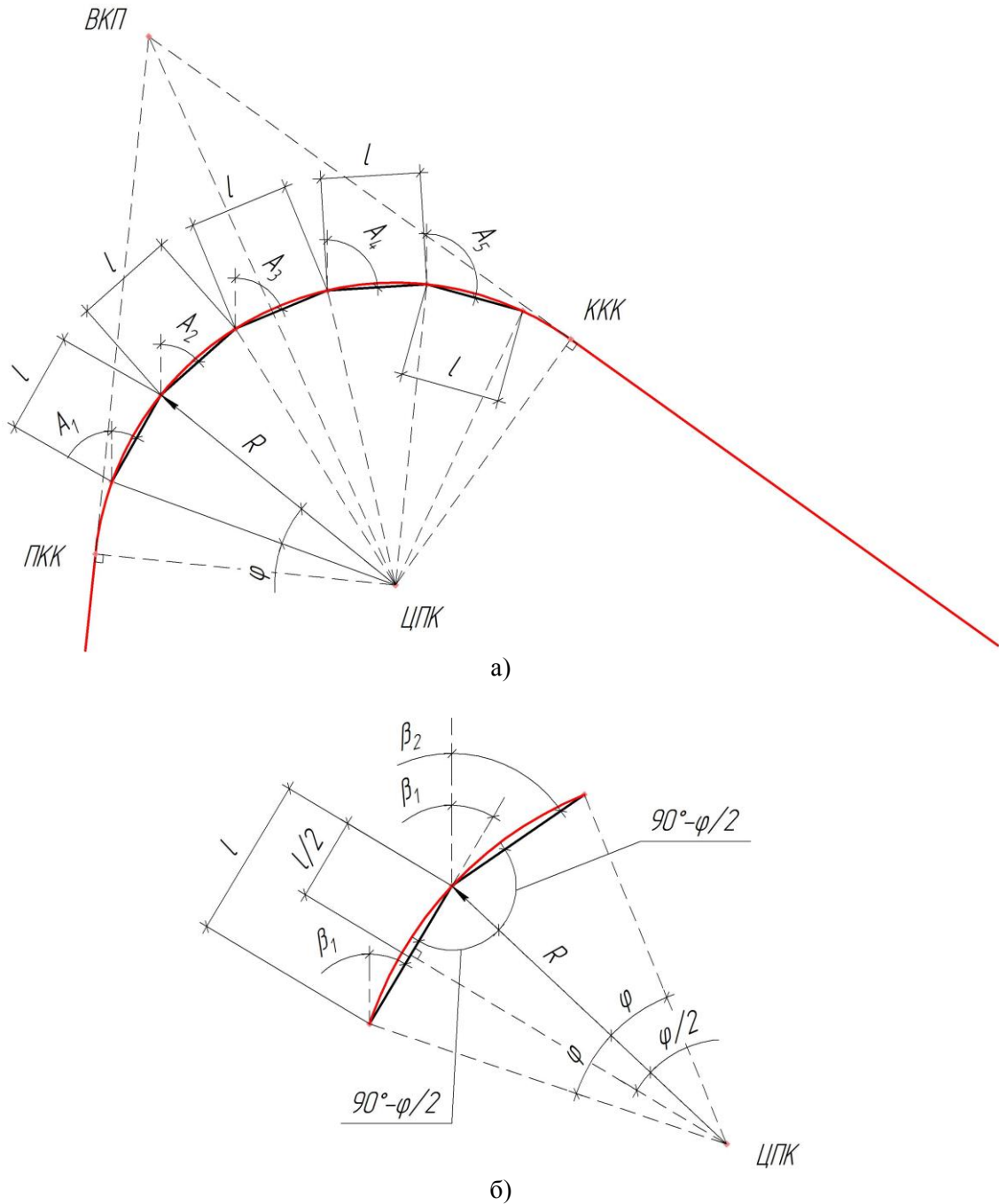


Рис. 2. Розрахункові схеми для застосування методу фіксації кутів відхилення хорд:

а – принципова схема, б – загальна схема;

ПКК – початок колової кривої; ККК – кінець колової кривої; ВКП – вершина кута повороту; A_i – азимут, град.

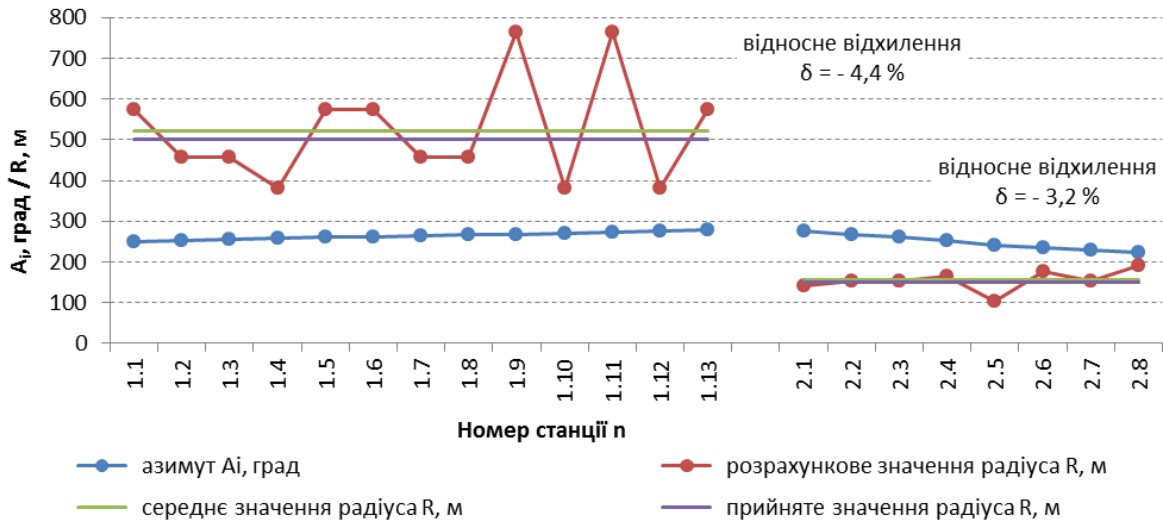
Оскільки $\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{l}{2 \cdot R}$, то

$$R = \frac{l}{2 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{l}{2 \cdot \sin \frac{\Delta\beta}{2}}. \quad (4)$$

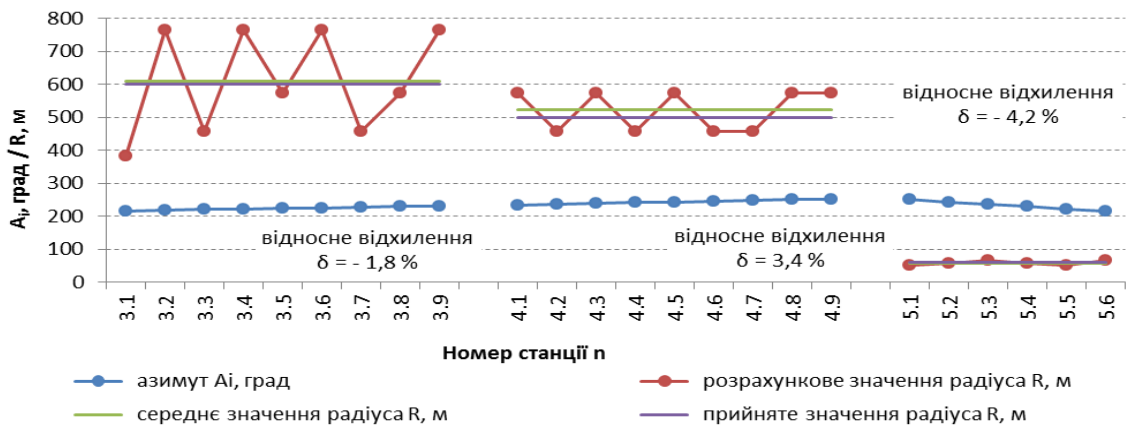
Довжину хорди l варто приймати, орієнтуючись на величину радіуса кривої R : при $R < 100$ м $l \approx 5$ м, при $R = 100 \dots 500$ м $l \approx 10$ м, при $R > 500$ м $l \approx 20$ м, але з таким розрахунком, щоб для кожної ділянки кривої припадало не менш як 5 опорних станцій.

Відповідно до положень вищезазначеного методу проведено ряд безпосередніх вимірювань в польових умовах Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату ДВНЗ "Національний лісотехнічний університет України.

Результати камеральних робіт та проведених обчислень показано на рис. 3 (різниця кутів відхилення хорд ($\Delta\beta$) для 1-шої кривої ділянки склала 1 ... 3 град., для 2-тої – 4 ... 11 град., для 3-тньої – 1,5 ... 2,5 град., для 4-тої – 1 ... 2,5 град., для 5-тої – 4 ... 8 град. За потреби обчислене значення радіуса колової кривої допустимо заокруглювати до найближчого цілого числа, кратного 5 (10) м, але з відхиленням не більш як 5 % (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Результати визначення величин радіусів кривих ділянок траси технологічної автомобільної дороги лісогосподарського призначення (грунтового проїзду) у польових умовах:

- а) – станції 1.1 ... 1.13 (1-ша ділянка), 2.1 ... 2.8 (2-га ділянка);
- б) – станції 3.1 ... 3.9 (3-тя ділянка), 4.1 ... 4.9 (4-та ділянка), 5.1 ... 5.6 (5-та ділянка)

Для вимірювання магнітних азимутів (румбів) прямих ділянок траси технологічної автомобільної дороги лісогосподарського призначення (грунтового проїзду) та кутів відхилення хорд у природно-виробничих умовах лісогосподарського підприємства використано ручну бусоль Шмалькальдера БШ 1 (встановлену на легкому штативі), для якої характерна достатньо висока точність (поділки на ній нанесені через 1° , а точність вимірювання становить $0,5^\circ$) та швидкість роботи, порівняно з компасом. У конструкції бусолі лімб скріплений із стрілкою і

повертається разом із нею. Два діоптри скріплені із корпусом, тому при візуванні азимут можна отримати одразу на лімбі. Однак, кутове значення значно краще знімати на очному діоптрі, зміщеному на 180° (через це північ лімба позначено на 180° , південь – 0°). У процесі маршрутного знімання покази з бусолі знімають безпосередньо, дивлячись на віху: у нижній частині діоптра дзеркало відбиває покази лімба бусолі, що є прямим азимутом об'єкта знімання. Для зменшення ймовірності помилок варто проводити орієнтування з наступних станцій на попередню й визначати зворотній магнітний азимут, який відрізняється на 180° від прямого вимірюваного азимута в напрямку на дану станцію.

Для вимірювання лінійних розмірів методом безпосереднього порівняння в процесі польових досліджень використано рулетку Р20УЗК (3-го класу точності з міліметровою шкалою й довжиною стрічки 20 м).

Висновки. З метою визначення у польових умовах радіусів кривих ділянок трас технологічних автомобільних доріг лісопромислового та лісогосподарського призначення працівниками галузевих лісогосподарських підприємств може бути використаний метод фіксації кутів відхилення хорд, який є цілком придатним для виконання робіт у рівнинних та горбистих умовах лісоексплуатації (а також за сприятливих обставин й у гірських умовах) й не потребує застосування високоартісного геодезичного інструменту чи іншого спеціального устаткування.

Для вимірювання кутів відхилення хорд безпосередньо на місцевості раціонально використовувати спеціальні компаси або інші прилади з точністю вимірювання $0,5^\circ$ і вище, для вимірювання відстаней – рулетки, мірні стрічки або інші прилади з точністю вимірювання 2 ... 10 см / 100 м і вище. Також для виконання польових робіт можна ефективно застосувати наявні на лісогосподарських підприємствах високоточні геодезичні інструменти (оптичні й лазерні нівеліри, оптичні й електронні теодоліти, електронні тахеометри тощо).

Інформаційні джерела

1. Рудько І. М. Структурна систематизація критеріїв для класифікації лісових доріг // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.8. – С. 286 – 292.
2. Адамовський М. Г., Бакай Б. Я. Аналіз і перспективи використання трельовальних тракторів у лісовому комплексі України // Науковий вісник УкрДЛТУ: Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля. – Львів: УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 14.3. – С. 175 – 182.
3. Коржов В. Л., Кудра В. С., Тимчук Б. Й. Оцінка параметрів лісотранспортної мережі у гірських лісах (на прикладі ДП "Осмолодське лісове господарство") // Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 13. – С. 210 – 216.
4. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Tom Ryan, Henry Phillips, James Ramsay, John Dempsey. – Dublin: COFORD, 2004. – 156 s.
5. Vatankhah A. R., Easa S. M., Mahdavi A. Alternative Solutions for Horizontal Circular Curves by Noniterative Methods // Journal of Surveying Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2013. – P. 111 – 119.
6. Инструкция по техническому учету и паспортизации лесных автомобильных дорог / ПКТИ Минлеспрома УССР // Утв. Минлесдревпромом УССР 23.01.1985 г. – К.: Минлесдревпром УССР, 1984. – 36 с.
7. Lynn B. Fricke. Traffic Accident Reconstruction. – Evanston: Northwestern University Traffic Institute, 1990. – 452 p.
8. Comparison of Radius-Estimating Techniques for Horizontal Curves / Carlson Paul J., Burris Mark, Black Kit, Rose Elisabeth R. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – Washington: NATL ACAD SCIENCES, 2005. – № 1918. – P. 76 – 83.
9. John C. Glennon, James R. Loumiet. Measuring Roadway Curve Radius Using the Compass Method // Motor-Vehicle Accident Investigation and Reconstruction Services. Crash Forensics. – 2003. – 3 p.
10. Wood Jonathan S., Zhang Shaohu. Identification and Calculation of Horizontal Curves for Low-Volume Roadways Using Smartphone Sensors / Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – Washington: NATL ACAD SCIENCES, 2018. № 2672. – P. 1 – 10.
11. Ai Chengbo, Tsai Yichang (James). Automatic Horizontal Curve Identification and

Measurement Method Using GPS Data // Journal of Transportation Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2015. – Vol. 141 (2). – P. 1 – 34.

12. Luo Wenting, Li Lin; Wang Kelvin C. P.. Automatic Horizontal Curve Identification and Measurement Using Mobile Mapping System // Journal of Surveying Engineering. – Reston: American Society of Civil Engineers, 2018. – Vol. 144 (Issue 4). – P. 1 – 15.

Рудько І.М., к.т.н., Бакай Б.Я., к.т.н., Барыляк В.В., к.т.н.
Національний лесотехнічний університет України

ОПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ РАДИУСОВ КРИВЫХ УЧАСТКОВ ТРАСС ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрена проблема технического учета и паспортизации сетей технологических автодорог лесохозяйственных предприятий Украины. Отмечена потребность на первом этапе определения в полевых условиях фактических параметров существующих лесных дорог, поскольку не на всех отраслевых предприятиях есть необходима достоверная техническая информация. Также с общей проблемы выделена ее составная часть, обусловленная необходимостью оперативного определения характеристик планов трасс существующих лесных дорог, в частности и радиусов кривизны кривых участков.

В процессе анализа публикаций результатов научных исследований установлено, что в смежных отраслях апробирован ряд методик определения радиусов горизонтальных кривых участков дорог, имеющих определенные преимущества и недостатки в конкретных природно-производственных условиях и различные показатели точности, стоимости, безопасности и простоты использования.

Для определения радиусов кривых участков трасс лесных автодорог рекомендуется использовать метод фиксации углов отклонения хорд, который является достаточно точным для инженерных расчетов и не требует применения специального оборудования. С применением предложенного метода и имеющегося на предприятии измерительного инструмента проведены экспериментальные исследования. На основе приобретенного опыта сформированы рекомендации по рациональной организации работ в полевых условиях.

Ключевые слова: метод фиксации углов отклонения хорд, измерения, радиус, инструмент, лесная дорога.

I. Rudko, B. Bakay, V. Barylyak
Ukrainian National Forestry University

DETERMINATION IN FIELD CONDITIONS OF THE CURVES SECTIONS RADIUS OF THE TECHNOLOGICAL AUTOMOBILE ROADS FOR TIMBER AND FORESTRY PURPOSE

The problem of technical accounting and certification of technological roads networks of Ukrainian forestry enterprises was considered. The need for the first stage of determining the actual parameters of existing forest roads in the field was noted, since not all industry enterprises need reliable technical information. Also, with a general problem, its component part is distinguished, due to the need to quickly determine the characteristics of the alignment plans of existing forest roads, in particular, the radius of curvature of the sections curves.

In the analyzing process of the research scientific results publication, it was found that in related industries a number of methods have been tested for determining the radius of horizontal curves road sections that have certain advantages and disadvantages in specific natural working conditions and various indicators of accuracy, cost, safety and ease of use.

It is recommended to use the chord angle fixing method to determine the radius of forest road curves sections, which is accurate enough for engineering calculations and does not require the use of special equipment. Using the proposed method and the measuring instrument available at the enterprise, experimental studies were carried out. Based on the experience gained, recommendations for rational organization of work in the field were formed.

Keywords: method for fixing chord deflection angles, measurements, radius, instrument, forest road.

UDC 621.793.6

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-17

B.P. Sereda, Ph.D., professor, I.V. Kruglyak, Ph.D., associate professor
Dnipro State Technical University

SURFACE HARDENING OF CONSTRUCTION MATERIALS WITH THE USE OF COMPOSITE SATURATING CHARGES

Abstract. *The article discusses the formation of the structure of protective diffusion layers using composite saturating charges on structural materials with different carbon content. A thermodynamic analysis of the gas phase at saturation has been carried out. The composition of the gas phase has been determined. Gaseous products interact with elements of the powder system (Al, Mo, Cr) and are transformed into the gas phase (CrH, CrOH, CrCl, CrCl₂, CrCl₃, CrOH, CrOCl₂, CrI, CrI₂, CrI₃, MoCl, MoCl₂, MoCl₃, MoCl₄, MoOCl, MoOCl₂, MoI, MoI₂, MoI₃, MoI₄). Using 3D modeling of microstructures, it was possible to more fully establish the nature of the distribution of phases and inclusions in the diffusion layer. The relationship between the 3D microstructure of the material and its physical and mechanical properties made it possible to carry out modeling to obtain the optimal composition of the developed composite charge for saturation. Diffuse layers are formed on the surface of structural materials, which contain Mo₂C and α phases - the Cr, Al, Mo phase, the inclusion of Fe₇Mo₆, (Fe, Cr, Al, Mo)₂₃C₆. Carbides of three types were found: hexagonal chromium carbide Cr₇C₃ and carbides Mo₂C, Cr₂₃C, Fe₃Mo₃C u Fe₂Mo₂C. The physical, mechanical and operational properties of structural materials with protective diffusion coatings have been investigated. At tests in the conditions of sliding friction the best wear resistance among the considered diffusion coverings has vanadium, titanium and borized. Their wear resistance is 1.8 - 2.3 times greater than that of coatings obtained under isothermal conditions.*

Keywords: *diffusion, molybdenum, modeling, microstructure, phase, microhardness, residual stresses, wear resistance.*

Introduction and statement of the problem. The modern development of mechanical engineering is closely related to the widespread use of new structural materials. The performance properties of parts can be enhanced by modifying the surface layers. One of the ways to achieve the modification of the structure and phase composition of parts operating under conditions of metallurgical production is saturation of the surface with metals during chemical-thermal treatment. Chemical heat treatment is an effective method of affecting the working surfaces of machine parts. After it is carried out, high-quality diffuse layers are obtained on the operating surfaces, which then turn into the base material, which is positive in terms of strength and stability. In this case, the treatment provides the formation of layers with a carbide structure based on chromium, molybdenum, vanadium, titanium.

Analysis of recent publications. The idea of creating a diffusion zone with a specific chemical composition on their surface attracts the attention of specialists primarily due to its rationality. It is on the surface of products that cracks originate - precursors of destruction, maximum stress arises as a reaction to operational loads, phenomena of intense wear are observed during friction against the product, they are combined [1-4].

The authors of [1] proposed a chemical-thermal treatment (CTT) scheme that does not provide for hermetic sealing of the container, its evacuation or filling with argon, as well as the excitation of mechanical vibrations of the container and the product. In addition, a saturating medium is used, it experiences an exothermic reaction when heated and ignited. As such a medium, coal powder was chosen, it plays the role of a source of atomic carbon, a micro-arcing medium and has a significant thermal effect during combustion.

To strengthen the working surfaces of parts of friction pairs, a new complex method of hardening the surfaces of machine parts has been developed [6], which consists of chemical deposition and diffusion Cr-Ti. A composite structure of a reinforced layer of significant thickness and rigidity is formed, provides high wear resistance of parts, strengthened by this method.

For high-wear parts of machines, a combination of two or more methods of chemical heat treatment is promising as methods of chemical-thermal treatment [7, 8]. Such a complex

treatment in combination with certain modes makes it possible to obtain strengthened surface diffuse layers of significant hardness and low brittleness, and to work well under severe operating conditions [9]. The use of several methods of technological impact on the treated surface allows you to select the optimal modes to ensure the advantages of the above methods.

In the literature [10, 11] there are combinations of several CTT methods, which can be performed both sequentially and simultaneously. Such an approach to the application of chemical treatment methods, as well as the type and modes of processing, makes it possible to obtain strengthened surface layers of the required characteristics.

Researchers who used hardening of machine parts and tools by methods of chemical-thermal treatment by saturating the surface layers with two or more components note such positive qualities that reinforcement objects acquire [8-11]. Most scientists point to the acquisition of the simultaneous properties of high hardness and plasticity, which is impossible with one-component diffusion saturation.

A particularly valuable (promising) CTT method is the joint diffuse saturation of the surface with chromium and titanium, which will make it possible to obtain reinforced layers of both high hardness and corrosion resistance. Research is being carried out [12] on the application of two-component coatings (chromium and titanium) and additionally by one-component (chromium) method of CTO. The authors, after examining samples coated with chromium and titanium carbides (Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , TiC) with a total thickness of 12 - 18 microns, came to the following conclusions. Coatings consisting of carbides of stoichiometric composition Cr_7C_3 have increased brittleness. Simultaneous diffuse saturation of steel surfaces with chromium and titanium is accompanied by the formation of titanium carbides in the coating next to chromium carbides, which provides a significant increase in the hardness of the carbide layer.

The purpose of this work is obtaining diffusion coatings from composite saturating powder media, to study the structure, phase, chemical composition and properties of the resulting protective coatings.

Research materials and methods

Chemical-thermal treatment was carried out on samples of technical iron, steels 20, 45, U8 in an open-type container in the operating temperature range 950 – 1200 °C isothermal holding time of 2-2.5 hours. Mixtures of powders of the following materials were used for the charge: chromium oxide - Cr_2O_3 , oxide alumina - Al_2O_3 , molybdenum oxide, ammonium chloride, iodine, dispersion of 60-120 μm .

Surface preparation of the samples included successive steps of grinding, polishing and degreasing in acetone. Initiation of the saturation process was performed by preheating in a furnace to the temperature of the beginning of spontaneous combustion (heating rate - 0,5 °C/s). The temperature of the composite saturating charge was monitored by a chromel-alumel thermocouple in a protective cover inserted directly into the volume of the charge and connected to a potentiometer of the PCB series.

The study of the microstructure of structural materials with protective coatings was performed from transverse sections on a metallographic microscope model «Neophot-21» and «Neophot-32» at a magnification of $\times 150$ - $\times 500$. Processing of cross sections was performed according to standard methods. A 4% solution of nitric acid HNO_3 in ethyl alcohol was used to reveal the microstructure of coatings obtained on technical iron and steels.

The study of the thickness of the coatings was performed on cylindrical samples with a diameter of 10-15 mm. Determination of the thickness of the coating is carried out on the cross sections on the device PMT-3M or on a metallographic microscope «Neophot-32».

Micro-X-ray spectral analysis of protective coatings is performed on a universal, high-performance, auto-emission, scanning electron microscope Carl Zeiss AG-SUPRA 40 WDS, which uses an electron-optical column GEMINI 3rd generation on cross sections.

Research results. When molybdenation using a composite saturating medium in the system №1, using molybdenum powder, a gas phase is formed containing compounds H, H_2 , H_3 , Cl, Cl_2 , Cl_3 , Cl_6 , I, I_2 , I_3 with chemical elements. With increasing temperature, an increase in the amount of halides is observed.

This confirms the possibility of transferring alloying elements to form molybdenum diffuse coatings. Also, the amount of products in the gaseous phase increases and condensed products of system No. 1 are released.

It is characteristic that in the temperature range of 700-1500 K, the decomposition of reaction products occurs during molybdenization, which is confirmed by the production of decomposition substances and a sharp increase in the number of moles of gas.

Gaseous products interact with elements of the powder system (Al, Mo, Cr) and are transformed into the gas phase (CrH , CrOH , CrCl , CrCl_2 , CrCl_3 , CrOH , CrOCl_2 , CrI , CrI_2 , CrI_3 , MoCl , MoCl_2 , MoCl_3 , MoCl_4 , MoOCl , MoOCl_2 , MoI , MoI_2 , MoI_3 , MoI_4). At temperatures above 700 K, the fraction of the condensed phase remains practically unchanged. This fact suggests that in the temperature range of 700-1700 K, reactions occur with the release of a condensed phase, but without changing the number of moles, which is typical for decomposition reactions, exchange with material, that is, in fact, chemical transport of elements occurs. In the temperature range 700-1700 K are: condensed compounds: $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$, $\text{AlN}(\text{c})$, $\text{Fe}(\text{c})$, $\text{Cr}(\text{c})$, $\text{CrCl}_2(\text{c})$, $\text{CrI}_2(\text{c})$, $\text{Mo}(\text{c})$, $\text{Cr}_2\text{N}(\text{c})$.

The results of thermodynamic modeling in the ECD-Mo₂O₃-AlT system are shown in Figure 1.

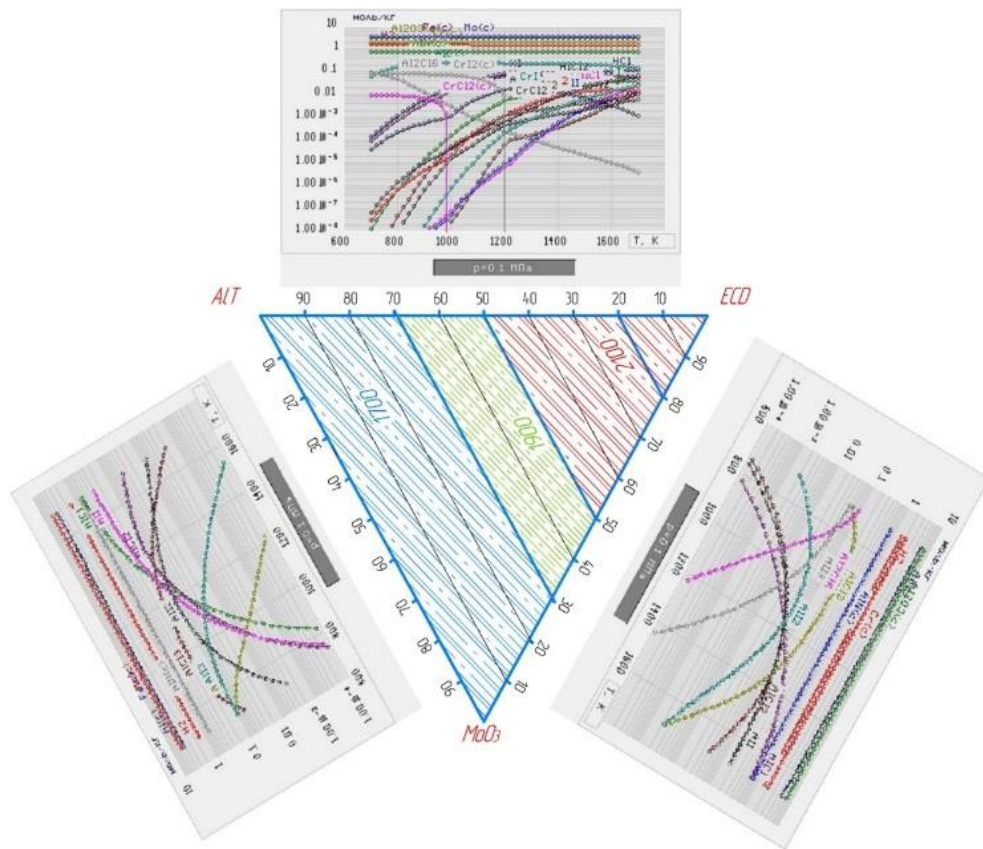


Fig. 1. Distribution of adiabatic temperature T_{ad} , K, when carrying out the process in a compositional saturating medium № 2 for the ECD-Mo₂O₃-ALT system: 1 - gaseous medium for the ALT-ECD system, 2 - gaseous medium for the ALT -Mo₂O₃ system, 3 - gaseous medium for the Mo₂O₃- ECD system.

When molybdenum is used with the use of a composite saturating medium of system № 2, a gas phase is formed containing compounds H , H_2 , H_3 , Cl , Cl_2 , Cl_3 , OH , I , I_2 , I_3 with chemical elements. With an increase in temperature, an increase in the amount of halides of system №2 . is observed. This confirms the possibility of transferring alloying elements to form molybdenum diffuse coatings. Also, the amount of products in the gaseous phase increases and condensed products are released.

Gaseous products interact with elements of the powder system (Al, Mo, Cr) and are transformed into the gas phase (AlH , AlH_2 , AlH_3 , AlCl , AlCl_2 , AlHCl , AlH_2Cl , AlHCl_2 , AlI , AlI_2 , AlI_3 , MoCl_3 , MoI , MoI_2 , CrH , CrOH , CrCl , CrCl_2 , CrCl_3 , CrI , CrI_2 , CrI_3 , MoCl_3 , MoI , MoI_2). At temperatures above 700 K, the fraction of the condensed phase remains practically unchanged.

This fact suggests that in the temperature range of 500-1500 K, reactions occur with the release of a condensed phase, but without changing the number of moles, which is typical for decomposition reactions, exchange with material, that is, in fact, chemical transport of elements occurs. In the temperature range 700-1450 K there are condensed compounds: Al(c), $Al_2O_3(c)$, AlN(c), Cr(c), Mo(c).

According to thermodynamic modeling data, molybdenum is completely reduced from oxide, and its concentration distribution over the triangular region is an inclined plane. Chromium is also completely reduced by aluminum. The distribution of adiabatic temperature during the process in a composite saturating medium T_{ad} for the ECD-MoO₃-ALT system is shown in Figure 1.

The maximum temperature corresponds to the ECD angle. Figure 1 shows the main halides of the gas phase. The highest temperature value $T_{ad} = T_m(Al_2O_3) = 2327$ K

The preparation of molybdenum diffusion layers on structural materials was carried out in powder composite saturating media in two systems, which consisted of both pure molybdenum and its oxide. Using 3D-modeling of microstructures, it was possible to more fully establish the nature of the distribution of phases and inclusions in the diffusion layer (Fig. 2).

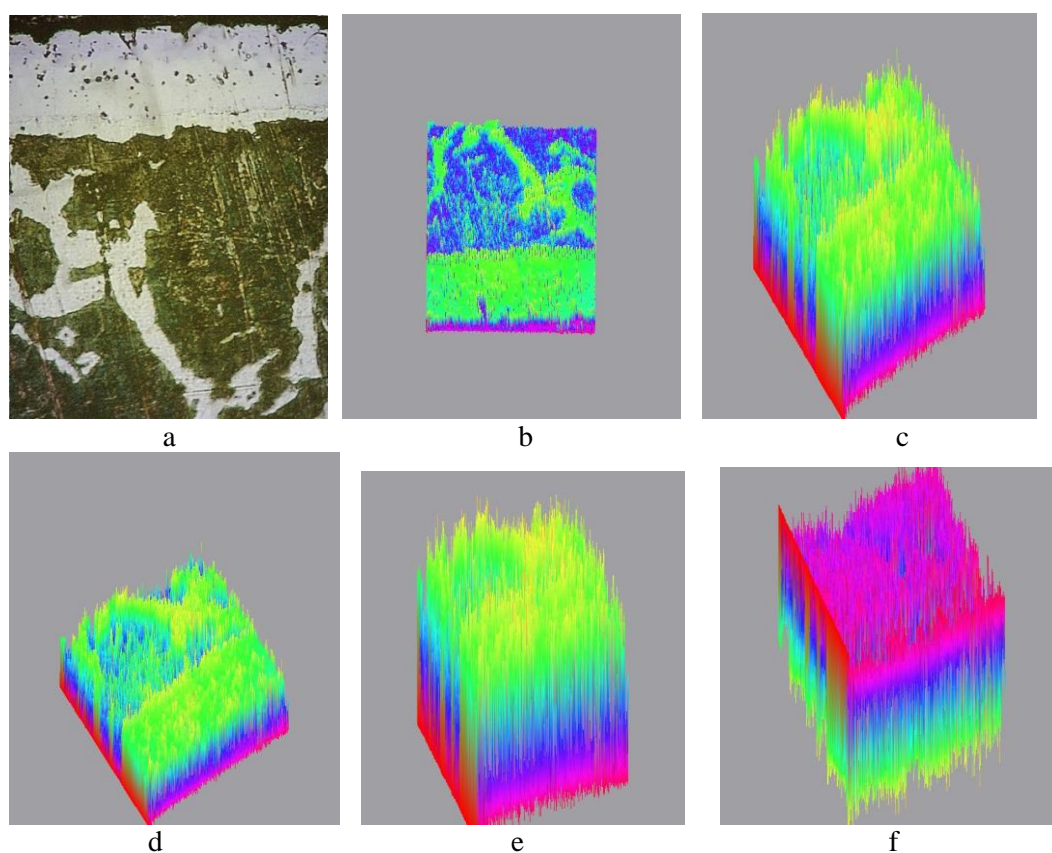


Fig. 2. Study of the microstructure of the molybdenum diffusion layer:

a-molybdenum layer obtained in system № 2, x150, b- 2D image, c-voxelization of a 3 D structure when assessing porosity, d- setting threshold values to enhance the difference in phase composition, e- 3 D structure for assessing carbide phases when identifying microstructures, f-3 D depiction of the nature of the distribution of the main saturating elements.

The surface saturation of structural materials was carried out at temperatures of 1100-1200 °C for 2-2,5 hours. The chemical composition and structure of the diffusion layer are mainly determined by the ratio of the active atoms of the saturating elements Mo, Al, Cr, and the gradient of the chemical potential. Upon saturation in composite saturating media in system №1, where molybdenum is in its pure form, a diffusion layer of molybdenum carbide Mo₂C (molybdenum 93-95%), is formed on the surface of steels 45 and U8, with inclusions of Fe₇Mo₆, as well as complex carbide Fe₃Mo₃C и Fe₂Mo₂C (47- 49% molybdenum) evenly distributed over the thickness of the carbide zone.

Upon saturation in composite saturating media in system №2, diffuse layers are formed on the surface of structural materials, which contain Mo_2C and α phases - the Cr, Al, Mo phase, the inclusion of Fe_7Mo_6 , $(\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Al}, \text{Mo})_{23}\text{C}_6$. Carbides of three types were found: hexagonal chromium carbide Cr_7C_3 and carbides Mo_2C , Cr_{23}C_6 , $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ and $\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{C}$.

Molybdenum diffusion layers obtained using composite saturating media on technical iron and steels are diffuse in nature and are characterized by uniformity in thickness (Fig. 2, b).

The test results of steel samples for wear under sliding friction on the friction machine SMT-1 are shown in Fig. 3.

At tests in the conditions of sliding friction the best wear resistance among the considered diffusion coverings have vanadium, titanium and borized. Their wear resistance is 1,8 – 2,3 times greater than that of coatings obtained under isothermal conditions. This can be explained by the higher microhardness, which is for coatings obtained in isothermal conditions by vanadium $H_{100} = 22000\text{--}23000$ MPa during titanium doping $H_{100} = 16000 - 16500$ MPa, during boron doping $H_{100} = 15000 - 16000$ MPa.

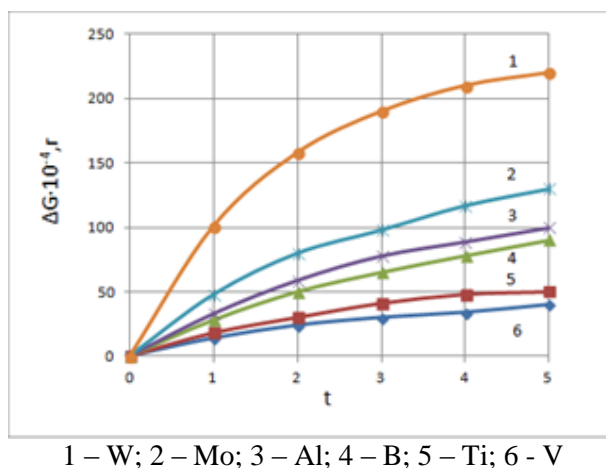


Fig. 3. Wear resistance of protective coatings on steel 45 obtained composite saturating media of the second system (SMT-1 friction testing)

In the conditions of use of composite saturating charges microhardness reaches the following values: at vanadization $H_{100} = 23000 - 24000$ MPa, at titanization $H_{100} = 16500 - 17000$ MPa, при at boring $H_{100} = 16000 - 16500$ MPa. The obtained results correlate with the indicators of wear resistance.

Conclusions:

1. Received diffusion coatings from composite saturating powder media consisting of both pure metal powders and their oxides. The wear resistance of protective coatings was determined when tested on the machine rubbing SMT-1.

2. Thermodynamic modeling was carried out to establish the composition of the gas phase during molybdenization and the distribution of the adiabatic temperature T_{ad} , K, was investigated when the process was carried out in a composite saturating charge.

3. The microstructures of the molybdenum diffusion layer were investigated using 2D and 3D images when assessing porosity, assessing carbide phases when identifying microstructures and the nature of the distribution of the main saturating elements.

4. The phase composition of molybdenum layers at saturation in system № 1, which was established, which on steels 45 and U8 consists of a layer of molybdenum carbide Mo_2C (molybdenum 93-95%), with inclusions Fe_7Mo_6 , as well as carbide of complex composition $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ and $\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{C}$ (47- 49% molybdenum) uniformly distributed over the thickness of the carbide zone. Upon saturation in composite saturating media in system №2, diffuse layers are formed on the surface of structural materials, which contain Mo_2C and α - phases - Cr, Al, Mo, the inclusion of Fe_7Mo_6 , $(\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Al}, \text{Mo})_{23}\text{C}_6$. Carbides of three types were found: hexagonal chromium carbide Cr_7C_3 and carbide Mo_2C , Cr_{23}C_6 , $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ and $\text{Fe}_2\text{Mo}_2\text{C}$.

References

1. Medyukh R.M., Medyukh V.K., Dovbush T.A. Diffusion drilling of plasma coatings based on molybdenum. Bulletin of the Ukrainian Materials Society named after I.M. Frantsevich, Kyiv: IPM named after IM Frantsevich NAS of Ukraine, 2019. №12. С.83– 92
2. Medyukh R.M., Medyukh V.K., Uvarova I.V. Diffusion chromium plating of plasma coatings based on molybdenum. Powder metallurgy. Kyiv: IPM named after IM Frantsevich NAS of Ukraine, 2017. №09 / 10. С.63– 69
3. Trefilova N.V. Analysis of modern methods of applying protective coatings. Modern high technologies. 2014. No. 10. P. 67–67.
4. Dombrovsky Yu. M., Stepanov M.S. New aspects of chemical-thermal processing of metals in powder media. Bulletin of DSTU. 2011. T. 11, No. 8 (59), Issue. 1.P. 1217–1221.
5. Lakhtin Yu. M., Arzamasov BN Chemical-thermal treatment of metals. M.: Metallurgy, 1985.255 s.
6. Borisenok G.V., Vasiliev L.A., Voroshnin L.G. Khimiko-thermal treatment of metals and alloys: a reference book. M.: Metallurgy, 1981.424 p.
7. Voroshnin L.G., Mendeleeva O.L., Smyotkin V.A. Theory and technology of chemical-thermal processing. New knowledge, 2010.297 p.
8. Belkin PN Electrochemical-thermal treatment of metals and alloys. M.: Mir, 2005.336 p.
9. Lygdenov BD, Guryev AM, Mosorov VI, Butukhanov VA Perspective diffusion coatings. International Journal of Experimental Education. 2015. No. 12-4. S. 573-573.
10. Stetsko A. Zmitsnennya machine parts by a complex method. 2015 pp. 125–130. [Electronic resource]: Access mode: http://www.ctp.uad.lviv.ua/images/ktd/33_stecko.pdf
11. Loburak V. Ya., Lukyanyuk MV Improving the performance characteristics of deposited coatings on steel 12X18H10T by method 130 of thermal diffusion treatment. Problems of Tribology (ProblemsofTribology) 2012, № 3. P. 48–51.
12. Loskutova T.V., Khyzhnyak V.G., Pogrebova I.S., Bobina M.M., Degula A.I. Heat resistance of carbide coatings obtained by sequential saturation of steel U8A with chromium and titanium. Scientific news of NTTU "KPI", 2009. №6. P.93–97.

Середа Б.П., д.т.н., проф., Кругляк И.В., к.т.н., доц.
Днепропетровский государственный технический университет

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАСЫЩАЮЩИХ СРЕД

В статье рассмотрено формирование структуры защитных диффузионных слоев с использованием композиционных насыщающих сред на конструкционных материалах с различным содержанием углерода. Проведен термодинамический анализ газовой фазы при насыщении. Определен состав газовой фазы газообразных продуктов, взаимодействующих с элементами порошковой системы (Al, Mo, Cr) и образующие газовую фазу (появляются CrH, CrOH, CrCl, CrCl₂, CrCl₃, CrOH, CrOCl₂, CrI, CrI₂, CrI₃, MoCl, MoCl₂, MoCl₃, MoCl₄, MoOCl, MoOCl₂, MoI, MoI₂, MoI₃, MoI₄). С использованием 3D-моделирования микроструктур удалось полно установить характер распределения фаз и включений в диффузионном слое. Связь 3D-микроструктуры материала и его физико-механических и эксплуатационных свойств конструкционных материалов позволили провести моделирование по получению оптимального состава разработанных насыщающих композиционных шихты. На поверхности конструкционных материалов формируются диффузные слои, имеющие в своем составе фазы Mo₂C и α - фаза Cr, Al, Mo, с включениями Fe₇Mo₆, (Fe, Cr, Al, Mo)₂₃C₆. Были обнаружены карбиды трех типов: гексагональный карбид хрома Cr₇C₃ и карбиды Mo₂C, Cr₂₃C, Fe₃Mo₃C и Fe₂Mo₂C. Исследовано физико-механические и эксплуатационные свойства конструкционных материалов с защитными диффузионными покрытиями. При испытаниях в условиях трения скольжения лучшую износостойкость среди рассмотренных диффузионных покрытий имеют ванадиевые, титановые и борированные. Их износостойкость в 1,8 - 2,3 раза больше, чем у покрытий, полученных при стационарных изотермических условиях.

Keywords: дифузія, моделювання, молибден, мікроструктура, фаза, мікротвердість, остаточні напруження, зносостійкість.

Середа Б.П., д.т.н., проф., Кругляк І.В., к.т.н., доцент
Дніпровський державний технічний університет

ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ НАСИЧУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ

У статті розглянуто формування структури захисних дифузійних шарів з використанням композиційних насичуючих середовищ на конструкційних матеріалах з різним вмістом вуглецю. Проведено термодинамічний аналіз газової фази при насиченні. Визначено склад газової фази Газоподібні продукти, взаємодіють з елементами порошкової системи (Al, Mo, Cr) і переводяться в газову фазу (з'являються CrH, CrOH, CrCl, CrCl₂, CrCl₃, CrOH, CrOCl₂, CrI, CrI₂, CrI₃, MoCl, MoCl₂, MoCl₃, MoCl₄, MoOCl, MoOCl₂, MoI, MoI₂, MoI₃, MoI₄). З використанням 3D-моделювання мікроструктур вдалося більш повно встановити характер розподілу фаз і включень в дифузійному шарі. Зв'язок 3D-мікроструктури матеріалу і його фізико-механічних властивостей дозволили провести моделювання з отриманням оптимального складу розроблених композиційних шихти для насичення. На поверхні конструкційних матеріалів формуються дифузійні шари, що мають в своєму складі фази Mo₂C і α - фаза Cr, Al, Mo, включення Fe₇Mo₆, (Fe, Cr, Al, Mo)₂₃C₆. Були виявлені карбіди трьох типів: гексагональний карбід хрому Cr₇C₃ і карбіди Mo₂C, Cr₂₃C, Fe₃Mo₃C і Fe₂Mo₂C. Досліджено фізико-механічні та експлуатаційні властивості конструкційних матеріалів із захисними дифузійними покриттями. При випробуваннях в умовах тертя ковзання найкращу зносостійкість серед розглянутих дифузійних покриттів мають ванадієві, титанові і борорувані. Їх зносостійкість в 1,8 - 2,3 рази більше, чим у покриттів, отриманих при ізотермічних умовах.

Keywords: дифузія, моделювання, молибден, мікроструктура, фаза, мікротвердість, залишкові напруження, зносостійкість.

UDC 621.793.6

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-18

D.B. Sereda, Ph.D.

Dnipro State Technical University

OPERATIONAL PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS WITH PROTECTIVE COATINGS OBTAINED UNDER NON-STATIONARY TEMPERATURE CONDITIONS

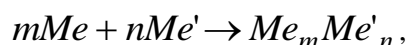
Abstract. *The structure and phase composition of chromium-alloy coatings consisting of the following phases are investigated in the work: when boron doping the coating on brass C68700 consists of phases: Cu_3Al , CuB , $CuZn_2$ and zones of solid solution Cr , Al , B in copper; during titanium doping Cu_3Al and $CuAl$ phases in the transition zone: phases $CuTi$ and $CuTi_2$. When tested on A572 steels, in conditions of sliding friction, the best wear resistance among the considered protective coatings are doped with titanium and boron. Their wear resistance is 1,8 – 2,1 times higher than that of coatings obtained under isothermal conditions. Under non-stationary temperature conditions, the microhardness reaches the following values: when doped with boron $H_{100} = 16500 - 17500$ MPa, when doped with silicon $H_{100} = 13500 - 14500$ MPa, when doped with titanium $H_{100} = 15000 - 16000$ MPa. The obtained results correlate with the indicators of wear resistance. A comparative analysis of the corrosion resistance of protective coatings obtained under non-stationary temperature conditions and isothermal conditions shows that they have a weight loss of 1.7–2.1 times less. It was found that when tested in a 30% aqueous solution of sulfuric acid, all protective coatings have good stability. Thus, when doped with boron, the weight loss is $15,2$ g/m², npu when doped with silicon - $10,8$ g/m², and when doped with titanium - $9,9$ g/m².*

Keywords: *diffusion, , microstructure, phase, micro hardness, non-stationary temperature conditions, wear resistance.*

Introduction.

Modern development of science and technology requires the creation of materials capable of working effectively in conditions of long-term cyclic action of high-temperature aggressive environments. Such materials must be heat- and erosion-resistant, have high heat resistance and low density, resistance to high stress and thermal shock. Many researchers note that such materials can be alloys based on intermetallic compounds [1-4].

Alloys based on intermetallics - a new class of materials, which by their structure occupy an intermediate position between metals and ceramics. They have a complex crystal structure with the presence of up to 30% of the covalent component in the interatomic bonds, which determines their unique physical and mechanical properties [5]. Intermetallic compounds or intermetallics are chemical compounds of metals related to each other:



where Me and Me' – metals;

m and n – stoichiometric coefficients.

The general classification of intermetallics includes daltonides (having a purely definite composition), bertolides (variable composition) and the Kurnakov phase. To date, more than 1,500 intermetallic compounds have been identified and described, which form about 200 different types of crystalline structures [6]. The most promising structural materials include the following types of intermetallics [6]:

- 1) phases of type A_3B with a cubic crystal lattice (Ni_3Al , Ni_3Si , Ni_3Fe , Ni_3Mn , Zr_3Al);
- 2) phases of type A_3B with hexagonal lattice (Ti_3Al , Ti_3Sn);
- 3) aluminides of the Me_3Al (A_3B) type with a structure different from the first two (Fe_3Al , Nb_3Al);
- 4) aluminides of the $MeAl_3$ type ($NbAl_3$, $NiAl_3$, $TaAl_3$, $TiAl_3$, $ZrAl_3$);
- 5) phases of the AB type ($TiAl$, $CuAu$, $NiAl$, $CoTi$, $CoZr$, $NiBe$, $FeAl$, $FeCo$, $TiNi$);
- 6) triple aluminides: $Al_{1-x-y}Ti_xMe_y$, де $Me - Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni$;
- 7) Laves triple phases: ($TaFeAl$, $TaNiAl$, $NbNiAl$).

High-temperature intermetallic alloys must have the following performance properties: high heat-resistant and heat-resistant specific characteristics, sufficient wear resistance, acceptable ductility and manufacturability, high corrosion and oxidation resistance. Surface saturation with aluminum, chromium, zinc and other elements refers to diffusion saturation with metals. The product, the surface of which is enriched with these elements, acquires valuable properties, including high heat resistance, corrosion resistance, increased wear resistance and hardness [7-10].

Depending on the method of transferring the diffusion element to the saturated surface, the following main methods of diffusion metallization are distinguished: immersion in molten metal if the diffusion element has a low melting point; saturation from molten salts containing a diffusing element (with and without electrolysis); saturation from the sublimated phase due to the evaporation of the diffusing element; saturation from the gas phase (contact and non-contact method), consisting of halogen compounds of the diffusing element [10-14].

Among the methods of surface hardening, chromium-alcohol coatings obtained by various methods of chemical and thermal treatment are widely used. In this regard, for Ukraine, it is relevant to develop new methods of chemical-thermal treatment, which make it possible to regulate the composition and structure of protective coatings, to provide the necessary performance characteristics with a minimum time of their formation. Such technologies are based on the phenomenon of self-propagating high-temperature synthesis [15-18].

Materials and methods of research.

The purpose of the work was to increase the corrosion resistance of brass C68700 in the conditions of SHS. Chemical-thermal treatment was carried out in an open-type reactor ($P = 10^5$ Pa) in the operating temperature range of 900-1100 °C. The duration of isothermal exposure varied from 30 to 60 minutes.

Surface preparation of the samples consisted of successive grinding, polishing and degreasing in acetone. Initiation of the process of thermal autoignition was carried out by preheating the resistance in the furnace to the temperature of the beginning of the exothermic reaction (t^*).

To analyze the phase composition of the coatings, an X-ray diffractometer DRON-3M was used. Investigation of the elemental composition of coatings was carried out by micro-X-ray spectral analysis using the JEOL microprobe "Superprob-733".

The tests for corrosion resistance are carried out on cylindrical samples with a diameter of 10 mm and a height of 20 mm. The samples of brass C68700 are investigated in 30% - aqueous solutions of hydrochloric, sulfuric and nitric acids at a temperature of 20 °C. Before and after the test, the samples were washed with acetone, dried and solved on analytical scales for 7 days every 24 hours with accuracy up to 1 mg and the mass loss per unit surface of the sample under the influence of corrosion is calculated [19].

The considered C68700 brass in its composition consists of $\alpha + \beta$ phases, where there is more β -phase. Brass has good corrosion resistance in normal atmospheres as well as in maritime climates. At the same time, brass containing less than 15% Zn is close to copper in corrosion resistance. The corrosion rate of bronze in atmospheric conditions does not exceed 0.001 mm / year; in fresh water, the corrosion rate is insignificant and at a temperature of 20 °C is 0.0025 ... 0.025 mm / year.

Brass corrodes intensively under the influence of mineral acids (nitric, hydrochloric). Sulfuric acid acts on brass much more slowly, but in the presence of oxidants $\{K_2Cr_2O_7, Fe_2(SO_4)_3\}$, the corrosion rate increases by two orders of magnitude. Bars are quite stable in alkali solutions (with the exception of ammonia) and in concentrated solutions of neutral salts.

Hydrogen sulphide is highly corrosive to brass. At the same time, brass with a high zinc content (over 30%) is more resistant to hydrogen sulfide environments than brass with a low zinc content. Corrosion resistance studies are performed using corrosive materials that simulate the intended application:

- pumps for pumping acid in titanium production;
- bearing assemblies at special equipment facilities of the rocket-space and defense industries;
- for the manufacture of parts of a simple configuration for critical purposes and fittings for marine shipbuilding, operating at temperatures up to 300 °C of massive parts, propellers and their blades.

Research materials and methods. Considered brass C68700, according to its composition, finds itself within the $\alpha + \beta$ phases, where there is more β -phase. Brass has good

corrosion resistance in the ordinary atmosphere, as well as in the marine climate. At the same time brass containing less than 15% Zn, in corrosion resistance is close to copper.

The bronze corrosion rate under atmospheric conditions does not exceed 0,001 mm/ year; in fresh water, the rate of corrosion is insignificant and at a temperature of 20 °C is 0,0025 ... 0,025 mm/year.

Brasses intensively corrode under the influence of mineral acids (nitric, hydrochloric). Sulfuric acid acts on brass much slower, but in the presence of oxidants $\{K_2Cr_2O_7, Fe_2(SO_4)_3\}$, the corrosion rate increases by two orders of magnitude. Bars are sufficiently stable in solutions of alkalis (with the exception of ammonia) and in concentrated solutions of neutral salts.

Hydrogen sulfide provides strong corrosive action on brass. At the same time, brass with high zinc content (more than 30%) is more stable in the hydrogen sulfide medium than brass with low zinc content. For corrosion resistance research, corrosive materials are used that imitate the intended applications:

- pumps for acid transfer in the production of titanium;
- bearing units on objects of special equipment in rocket space and defense industries;
- for the manufacture of simple configuration of parts for responsible purposes and armature of marine shipbuilding, operating at temperatures up to 300 °C of massive parts, propellers and their blades.

To enhance the corrosion resistance of brass, C68700 requires a protective coating containing elements that form passive films. In this case, upon reaching the potential of ionic passivation, oxide films of the composition: $Cr_2O_3, Al_2O_3, TiO_2, SiO_2$ which protect the metal from destruction, are formed.

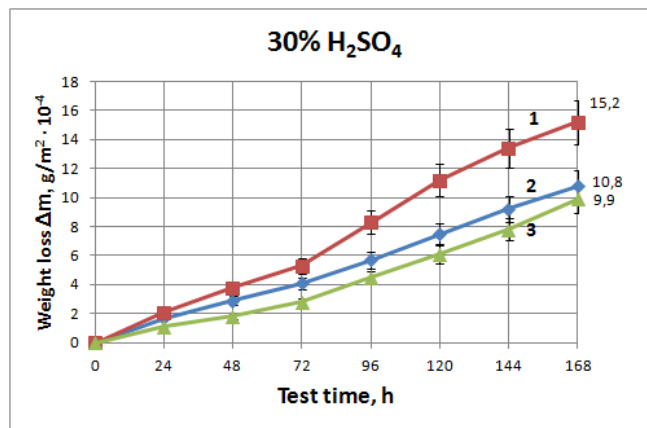


Fig. 1. Comparative characteristics of indicators of weight loss

When testing in 30% of aqueous sulfuric acid solution, good resistance to all protective coatings. Thus, with boron doping, the mass loss is 15,2 g/m², with silicon doping – 10,8 g/m², and when titanium alloy – 9,9 g/m². Comparative analysis of corrosion resistance (Fig. 1) of protective coatings obtained in isothermal conditions, shows that they have a weight loss of 1,7-2,1 times more.

The obtained results can be explained by the formation of doped phases on the surface, which leads to surface passivation in aggressive environments. It is also possible to assume the effect of electrochemical inhibition of anodic dissolution of metals at a higher concentration of alloying elements in comparison with coatings obtained in isothermal alloy coatings, which indicates the absence of micro cracking. It is known that mechanical stresses (in this case compressive residual stresses) affect the corrosion behavior of metals due to the production of additional energy by the structural material due to the fact that the level of residual stresses in coatings obtained under thermal ignition of SHS-charge is higher. As a result, the probability of micro cracking of passive oxide films decreases, which leads to increased corrosion resistance.

The test results of steel samples for wear under sliding friction on the friction machine SMT-1 are shown in Fig. 2.

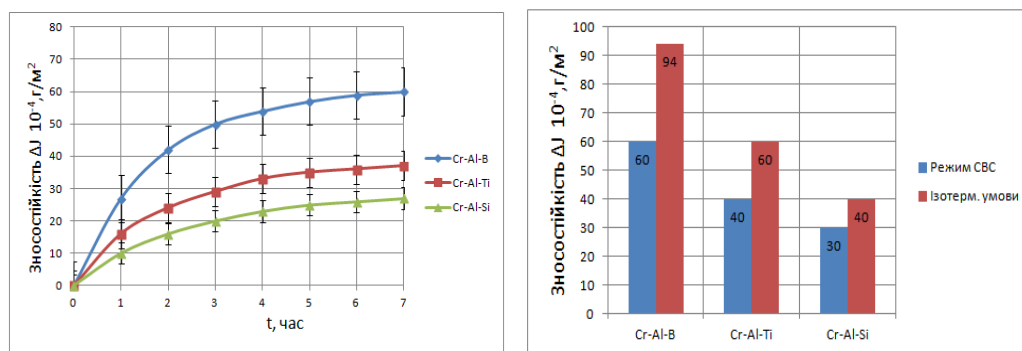


Fig. 2. Wear resistance of protective coatings on steel A572 tp = 10500C, $\tau_v = 60$ min., (friction testing machine SMT-1)

When tested under sliding friction conditions, titanium and boron alloys have the best wear resistance among the considered. Their wear resistance is 1,8 – 2,1 times higher than that of coatings obtained under isothermal conditions.

This can be explained by the higher microhardness, which is for coatings obtained in isothermal conditions during doping with boron $H_{100} = 15000 - 15500$ MPa, when doping with silicon $H_{100} = 12500 - 13000$ MPa, when doping with titanium $H_{100} = 14000 - 14500$ MPa.

In the conditions of SHS the microhardness reaches the following values: at doping by boron $H_{100} = 16500 - 17500$ MPas, at doping by silicon $H_{100} = 13500 - 14500$ MPas, at doping by titanium $H_{100} = 15000 - 16000$ MPas. The obtained results correlate with the indicators of wear resistance. It is known that the wear of the metal is accompanied by plastic and elastic deformations of the surface layer, chipping and shear of individual metal particles of the surfaces and fatigue failure.

Conclusions.

1. Received diffusion coatings from composite saturating powder media consisting of both pure metal powders and their oxides. The wear resistance of protective coatings was determined when tested on the machine rubbing SMT-1.

2. When testing in 30% of aqueous sulfuric acid solution, good resistance to all protective coatings. Thus, with boron doping, the mass loss is $11,7 \text{ g/m}^2$, with silicon doping – $10,8 \text{ g/m}^2$, and when titanium alloy – $12,4 \text{ g/m}^2$. Comparative analysis of corrosion resistance of protective coatings obtained in isothermal conditions, shows that they have a weight loss of 1,7-2,1 times more.

References

1. Molyar A.G., Kotsyuba A.A., Bychkov A.S., Nechiporenko O.Yu. Structural materials in aircraft construction. Kiev: KViTs, 2015.400 p. ISBN 978-617-697-038-8.
2. Sanin F.P., Kuchma L.D., Jur E.O., Sanin A.F. Solid propellant rocket engines. Materials and technologies. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk Publishing House. un-tu, 1999. 320 p.
3. Kolachev BA Titanium alloys in the design and production of aircraft engines and aerospace technology: monograph / Pod. ed. A.G. Bratukhina. Moscow: MAI Publishing House, 2001.411 p. ISBN 5-7035-2463-6.
4. Belov A.F., Benediktova G.P., Viskov A.S. et al. Structure and properties of aviation materials / Ed. A. F. Belova, V. V. Nikolenko. Moscow: Metallurgy, 1989.368 p.
5. Bannykh O.A., Povarova K.B. Intermetallides - a new class of light heat-resistant and heat-resistant materials. Light alloy technology. 1992. No. 5. S. 26-32.
6. Sinelnikov V.S., Podergin V.A., Rechkin V.N., Aluminides. Kiev: Nauk. Dumka, 1965.243 p.
7. Merzhanov A.G. Solid flames: discovery, concepts and horizons of cognition. Combust. Sci. and Technol., 1994, v. 98, № 4-6, p. 307-336.
8. Merzhanov A.G., Rogachev A.S. Phase and structure transformations during SHS. Adv. Sci. Techn. 2003, v.31, pp. 271-282
9. Chemical-thermal treatment of metals and alloys. Directory. / Borisenok G.V., Vasiliev L.A., Voroshnin L.G. and others. - Moscow: Metallurgy, 1981.- 424 p.

10. Sereda B. Production of highly effective SHS coatings operating in oxidizing and corrosive environments / Sereda B., Sereda D., Kryglyak I. // Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.424-429
11. Sereda B. Simulation and modeling of metallurgical phenomena produced on pressing in SHS-condition/ Sereda B., Sereda D., Kovalenko A., Kryglyak I. // Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.727-732
12. Establishment of the relationship between the microstructure characteristics and the heat resistance of silicate coatings obtained under SHS conditions/ Sereda B., Sereda D., Sereda I.// Material science and technology - 2017. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2017. - P.412-416
13. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. - P.825-829.
14. Sereda B. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology- 2016. Salt Lake City, Utah USA 2016. - P.931-934.
15. Sereda B. Modeling deformation in material processing and laws of phasic by SHS pressing intermetallics alloys / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology. Columbus. Ohio, USA 2015. - P.611-617.
16. Sereda B. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition./ Sereda D., Sereda B. //Material science and technology. Pittsburgh. Pennsylvania, USA 2014. - P.482-486.
17. Sereda B. Modeling deformation in material processing and laws of phasic by SHS pressing intermetallics alloys / Sereda D., Sereda B. //Material science and technology 2015. Conference and Exhibition. Columbus. Ohio, USA. 1827p. P.611-617 -SCOPUS
18. Sereda B., Sereda D. Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. Material science and technology. Columbus, Ohio, USA. 2011.-P.1667-1671.
19. Zhuk N.P. Course of the theory of corrosion and protection of metals / N.P. Zhuk // - M.: Metallurgy, 1976. - 472 p.

Середа Д.Б., к.т.н.

Дніпровський державний технічний університет

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАХИСНИМ ПОКРИТТЯМ ОТРИМАНИМИ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ

В роботі досліджено структура, і фазовий склад хромоалітованих покриттів, що складаються з наступних фаз: при легуванні бором покриття на латуні С68700 складається з фаз: Cu_3Al , CuB , $CuZn_2$ та зони твердого розчину Cr , Al , B у міді; при легуванні титаном, фази Cu_3Al та $CuAl$ у перехідній зоні: фази $CuTi$ та $CuTi_2$. При випробуваннях на сталі А572, в умовах тертя ковзання найкращу зносостійкість серед розглянутих захисних покриттів мають леговані титаном та бором. Їх зносостійкість в 1,8 – 2,1 раз вища, чим у покриттів, отриманих при ізотермічних умовах. При нестационарних температурних умовах мікротвердість досягає наступних значень: при легуванні бором $H_{100} = 16500 - 17500$ МПа, при легуванні кремнієм $H_{100} = 13500 - 14500$ МПа, при легуванні титаном $H_{100} = 15000 - 16000$ МПа. Отримані результати корелюють з показниками зносостійкості. Порівняльний аналіз корозійної стійкості захисних покриттів отриманих при нестационарних температурних умовах та ізотермічних умовах, показує, що вони мають втрату ваги в 1,7-2, 1 рази меншу. Встановлено, що при випробуванні в 30% водяному розчині сірчаної кислоти добру стійкість мають усі захисні покриття. Так, при легуванні бором втрата маси складає $11,7 \text{ г/м}^2$, при легуванні кремнієм – $10,8 \text{ г/м}^2$ і при легуванні титаном – $12,4 \text{ г/м}^2$.

Keywords: дифузія, мікроструктура, фаза, мікротвердість, нестационарні температурні умови, зносостійкість.

Серета Д.Б., к.т.н.

Днепропетровский государственный технический университет

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ПОЛУЧЕННЫМИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В работе исследованы структура и фазовый состав хромоалитированных покрытий состоящий из следующих фаз: при легировании бором покрытия на латуни С68700 состоит из фаз: Cu_3Al , Cu_2B , CuZn_2 и зоны твердого раствора Cr , Al , B в меди при легировании титаном, фазы Cu_3Al и CuAl в переходной зоне: фазы CuTi и CuTi_2 . При испытаниях на стали А572, в условиях трения скольжения лучшую износостойкость среди рассмотренных защитных покрытий имеют легированные титаном и бором. Их износостойкость в 1,8 - 2,1 раз выше, чем у покрытий, полученных при изотермических условиях. При нестационарных температурных условиях, микротвердость достигает следующих значений: при легировании бором $\text{H100} = 16500 - 17500$ МПа, при легировании кремнием $\text{H100} = 13500 - 14500$ МПа, при легировании титаном $\text{H100} = 15000 - 16000$ МПа. Полученные результаты коррелируют с показателями износостойкости. Сравнительный анализ коррозионной стойкости защитных покрытий полученных при нестационарных температурных условиях и изотермических условиях, показывает, что они потеря веса в 1,7-2, 1 раза меньше. Установлено, что при испытании в 30% водном растворе серной кислоты хорошую стойкость имеют все защитные покрытия. Так, при легировании бором потеря массы составляет $11,7 \text{ г} / \text{м}^2$, при легировании кремнием - $10,8 \text{ г} / \text{м}^2$ и при легировании титаном - $12,4 \text{ г} / \text{м}^2$.

Keywords: диффузия, микроструктура, фаза, микротвердость, нестационарный температурный режим, износостойкость.

УДК 389.14

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-19

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

Луцький національний технічний університет

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ НА СИМУЛЯТОРАХ-ТРЕНАЖЕРАХ

В даній статті описано використання програмного забезпечення, яке використовують під час підготовки фахівців інженерних спеціальностей. На виробництві користуються симуляторами для підготовки висококваліфікованих фахівців, що, у свою чергу, зменшує витрати часу на впровадження нового або переналагодження вже існуючого обладнання. Віртуальний тренажер являє собою програмний комплекс, що дозволяє проводити фізичні дослідження на комп'ютері без безпосереднього контакту з реальною лабораторною установкою або стендом. У віртуальних тренажерах динаміка процесів реалізується за допомогою комп'ютерної анімації - комплексу методів відображення будь-яких об'єктів в часі. Мультимедійна навчально-наукова лабораторія поєднує в собі імітаційну динамічну модель обладнання і програмну оболонку, що включає методичний супровід лабораторної установки. Динамічна модель формується з сукупності елементів управління, що дозволяють регулювати конкретні вхідні параметри і зчитувати вихідні параметри досвіду, тим самим імітуючи протікання фізичних процесів.

Ключові слова: симулятор, програмне забезпечення, шліфування, фінішна обробка.

Виробництво є одним з найбільш важливих застосувань моделювання. Цей метод являє собою цінний інструмент, який використовується інженерами при оцінці ефекту капітальних вкладень в обладнання і фізичні об'єкти, такі як заводи, склади і розподільні центри. Моделювання може бути використано для прогнозування продуктивності існуючої або планованої системи і порівняння альтернативних рішень для конкретної проектною задачі.

Іншою важливою метою моделювання в виробничих системах є кількісна оцінка продуктивності системи.

Загальні показники ефективності системи включають таке:

- Пропускна здатність при середніх і пікових навантаженнях
- Тривалість одного циклу (скільки часу потрібно для виготовлення однієї деталі)
- Використання ресурсів, робочої сили і машин
- Черги на робочих місцях
- Черги і затримки, викликані вантажно-розвантажувальними пристроями і системами
- Потреби в зберіганні в процесі роботи
- Потреби в персоналі
- Ефективність систем планування
- Ефективність систем управління

Тому на виробництвах все частіше користуються симуляторами для підготовки висококваліфікованих фахівців, що, у свою чергу, зменшує витрати часу на впровадження нового або переналагодження вже існуючого обладнання.

Віртуальний тренажер являє собою програмний комплекс, що дозволяє проводити фізичні дослідження на комп'ютері без безпосереднього контакту з реальною лабораторною установкою або стендом. У віртуальних тренажерах динаміка процесів реалізується за допомогою комп'ютерної анімації - комплексу методів відображення будь-яких об'єктів в часі. Процеси формування понять за допомогою аналізу, порівняння, виділення істотних ознак і інших логічних операцій відтворюються фахівцем, які розробляють анімацію, в образній формі, і інтерактивно виводяться на дисплей комп'ютера в суворо визначеній послідовності. Мультимедійна навчально-наукова лабораторія поєднує в собі імітаційну динамічну модель обладнання і програмну оболонку, що включає методичний супровід лабораторної установки. Динамічна модель формується з сукупності елементів управління, що дозволяють регулювати конкретні вхідні параметри і зчитувати вихідні параметри досвіду, тим самим імітуючи протікання фізичних процесів.



Рис. 1. Процес навчання із застосуванням віртуального тренажера

На рис. 1 представлена принципова схема процесу навчання із застосуванням віртуального тренажера. Як показано на схемі, комп'ютерний тренажер включає в себе сукупність програмних і апаратних засобів, що дозволяють здійснювати процес навчання без безпосередньої взаємодії людини і реальної лабораторної установки [1].

Апаратні можливості тренажера - це сучасний персональний комп'ютер, оснащений якісними пристроями введення / виведення інформації. Програмні засоби - це математично обґрунтована віртуальна модель, що включає в себе систему графічної візуалізації, звуковий супровід і текстову інформацію. Введення і виведення інформації здійснюється згідно з розробленим алгоритмом - програмного коду віртуальної моделі.

У процесі навчання користувач проходить основні етапи пізнавальної діяльності: сприйняття, поверхневе знайомство; осмислення, закріплення, контроль знань; формування професійно-орієнтованих умінь і навичок; розвиток інтуїції.

Тому, враховуючи вище перераховане, методика розрахунку та можливого результату отриманої поверхні після обробки деталей на виробництві потребує детального вивчення та постійного вдосконалення. Процес навчання працівників на симуляторах для засвоєння навичок та попереднього ознайомлення із роботою обладнанням, щоб зменшити можливі витрати безпосередньо на виробництві є важливою метою сучасного виробництва та нашого дослідження.

Все більше число експертів [2,3] поділяє думку про те, що навчання і підтримка професійних навичок на основі роботи з віртуальними моделями набагато ефективніше відеокурсів і є необхідним доповненням до практики роботи на реальному обладнанні і в реальній обстановці.

Мультимедійність та інтерактивність тренажерів забезпечують можливість навчання і тренувань персоналу в умовах, максимально наближених до практичних. При цьому використання в цих пристроях віртуальних моделей обладнання, технологічних процесів і робочих ситуацій забезпечує можливість багаторазових спроб без використання і витрати ресурсів реального обладнання та небезпеки порушень норм промислової безпеки. Персонал, який проходить навчання і підвищує кваліфікацію за допомогою віртуальних моделей, досягає належного рівня знань і умінь в більш стислі терміни.

Комп'ютеризована реалізація віртуальних моделей - для неї часто використовується термін «симулятор» - це програмно-апаратна реалізація систем.

Це забезпечує моделювання діяльності оператора, що підтримує своїми діями встановлений «правилами» режим функціонування пристрою.

Аналіз показує, що включення в симулятор інтерактивних засобів, що забезпечують взаємодію оператора з комп'ютерною імітаційною моделлю, може істотно змінити вигляд кінцевого виробу.

Залежно від завдань, поставлених перед розробниками, симулятор може бути адаптований для вирішення завдань аналітичних, верифікаційних, валідаційних або дидактичних (завдань навчання).

Аналітичні можливості симулятора розвиваються за рахунок розширення функцій по відображенню зв'язкових процесів у вигляді суміщених графіків, таблиць, індикаторів, а також впровадження методів виявлення прихованих взаємозалежностей.

Дидактичні «здібності» симулятора формуються завдяки належній імітації засобів управління, а також включенням в нього блоків завдань і оцінки дій оператора в обстановці, що склалася. Симулятор, оснащений розвиненим дидактичним блоком, прийнято називати тренажером (рис. 2).

Високоточні, деталізовані тривимірні моделі дозволяють швидко і зрозуміло отримати і засвоїти інформацію про фізичне розташування об'єктів підприємства, їх внутрішній устрій. А дані про технологічні схеми і характеристики технологічного обладнання та інженерних систем, що зберігаються в інформаційній моделі підприємства, дозволяють детально вивчити технологічні процеси.

Застосування програмних продуктів, заснованих на системах віртуальної реальності, тривимірних інформаційних і імітаційних моделях дозволяє:

- Забезпечувати просте наочне відображення складних технічних об'єктів і технологічних операцій.
- Верифікувати складні технологічні процеси.
- Забезпечувати наочне уявлення процесу протікання аварійних ситуацій.
- Навчати фахівців роботі зі складним технічним обладнанням.

Це дозволяє підвищити ступінь безпеки експлуатації складних промислових об'єктів за рахунок підвищення рівня підготовки персоналу і кращого розуміння співробітниками технологічних процесів.

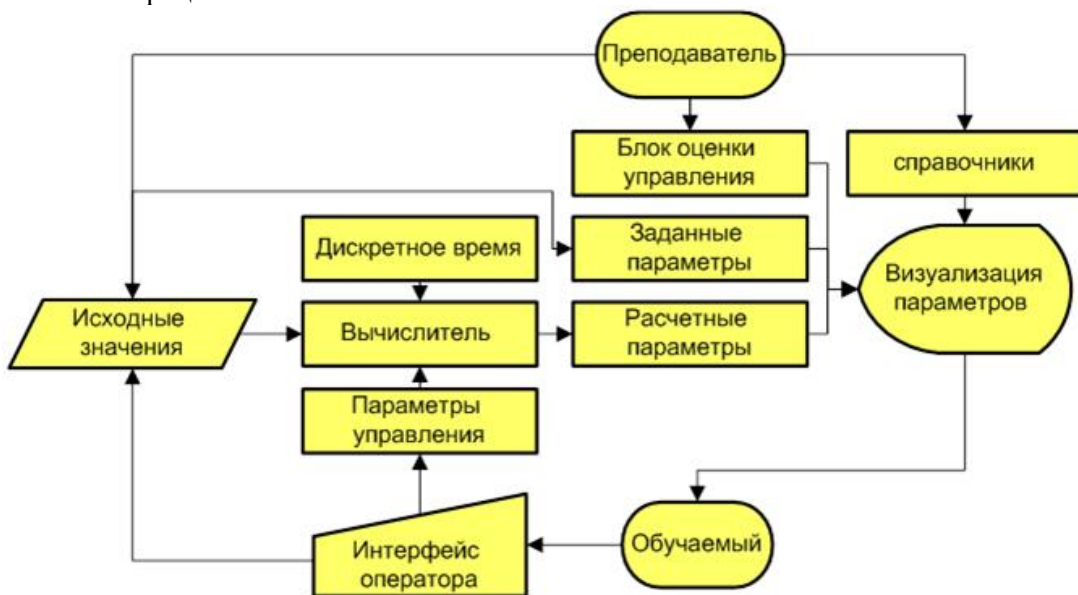


Рис. 2. Загальна схема тренажера

Розглянемо симулятор-тренажер для навчання працівників на основі проведених досліджень та розрахунків процесу фінішної обробки роликпідшипників в умовах переналагоджувального виробництва.

Якість поверхневого шару роликів роликпідшипників формується на фінішних операціях оброблення, де використовується шліфування. Показники якості поверхневого шару діляться на дві групи: геометричні та фізико-механічні. До геометричних показників якості поверхневого шару відносяться висота шорсткості шліфованої поверхні роликів. До фізико-механічних показників якості поверхневого шару відноситься комплекс властивостей, що характеризують стан мікроструктури, розподілення мікротвердості по глибині, характер зміни і величини залишкових напружень.

Вплив умов шліфування на шорсткість доволі повно вивчено і описано у літературі [4,5,6]. Але в літературі немає відомостей по формуванню шорсткості поверхні під час

переривчастого шліфування в широкому діапазоні режимів. Оскільки цей показник є одним з основних, виникає необхідність в розробці методики вибору геометричних параметрів переривчастих кругів і режимів різання, що забезпечують необхідну шорсткість поверхонь деталей під час переривчастого шліфування.

Від зносостійкості абразивних шліфувальних кругів залежить формування якості обробленої поверхні, продуктивність і вартість оброблення. Знос переривчастих абразивних кругів і формування мікропрофілю шліфованої поверхні є взаємопов'язаними характеристиками динаміки процесу шліфування переривчастими кругами, що визначаються протяжністю їх ріжучого виступу і впадини.

При вивченні цього питання використовувались гіпотези і положення про причини, характер і закономірність зносу абразивних шліфувальних кругів, опубліковані в роботах [7, 8, 9] дослідників. Відзначається, що в залежності від умов різання шліфувальні круги можуть піддаватись наступним видам зносу: механічному, адгезійному та дифузійному.

У зв'язку з тим, що в наш час поки що невідомі способи якісної оцінки відсотку кожного виду зносу круга і їх зміні в залежності від умов шліфування, визначався загальний знос круга.

Встановлено, що між зносом круга і умовами шліфування є залежність: легкі режими при інших рівних умовах, сприяють затупленню шліфувального круга, а важкі – самозагостренню. Створення умов для самозаточування круга збільшує продуктивність шліфування. Інтенсифікація процесу самозагострення забезпечується ударними умовами роботи круга під час переривчастого шліфування.

Дослідження зносостійкості, ріжучої здатності і формування мікропрофілю шліфованої поверхні під час переривчастого шліфування проводилось для переривчастих кругів у порівнянні зі звичайними тієї ж характеристики.

Останнім часом зростає кількість робіт, пов'язаних з моделюванням процесу шліфування із застосуванням обчислювальної техніки. Однак алгоритми цих програм не враховують повний комплекс взаємозалежних процесів, що відбуваються під час шліфування металів (процеси утворення робочої поверхні шліфувального круга в процесі його правки, перетворення стану робочої поверхні у зв'язку із зносом інструменту; виникнення та збільшення коливань інструмента щодо заготовки, зняття металу на етапі виходжування за рахунок пружності технологічної системи, впливу теплових і силових факторів процесу шліфування на оброблюваний матеріал). Варто зазначити, що недостатньо приділяється уваги питанню розроблення і реалізації алгоритмів розрахунку фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару. У зв'язку з цим розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення за вибором методів і умов шліфування поверхонь деталей, в яких би враховувався весь комплекс взаємозалежних факторів процесу абразивної обробки, є актуальним завданням.

Для отримання формул, що описують мікрогеометрію поверхні, яка утворюється під час переривчастого шліфування, розглянемо схему контакту переривчастого круга з оброблюваною поверхнею на операціях круглого шліфування (рис.3). При цьому візьмемо ідеальний випадок формування мікропрофілю, що утворюється лише за рахунок кінематичного відносного руху точок периферії ріжучого виступу і оброблюваної деталі, без врахування коливань круга і деталі.

Рівняння, що описує траєкторію переміщення точки ріжучого виступу переривчастого круга, має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \sin \varphi \pm v_a t \\ y &= R - R \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де R – радіус круга, мм; v_a – швидкість переміщення виробу, мм/хв.; t – час.

У рівнянні (1) знак «+» відповідає врізному шліфуванню, а знак «-» повздовньому. Виключивши з рівняння (1) параметр φ і прийнявши $\sin \varphi \approx \varphi$, отримаємо рівняння траєкторії переміщення точки ріжучого виступу круга.

$$y = \frac{R}{2 \cdot \left(\frac{v_a}{\omega} \pm R \right)^2} \cdot x^2 \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість обертання круга, рад/хв..

Рівняння кривої, що обмежує нижню межу перерізу, має вигляд:

$$y = \frac{R}{2 \cdot \left(\frac{v_a \pm R}{\omega} \right)^2} \cdot (x - S'')^2 \quad (3)$$

Координати точки перехрещення верхньої і нижньої параболічної кривої, що обмежує переріз, визначаються виразами:

$$x_{\hat{E}} = \frac{S''}{2}; y_K = \frac{R}{8 \cdot \left(\frac{v_a \pm R}{\omega} \right)^2} \cdot S''^2. \quad (4)$$

$$\text{де } S'' = \frac{v_a l_2}{\omega R}; S = \frac{v_a l_1}{\omega R}; S = \frac{v_a (l_2 + l_1)}{\omega R} \quad (5)$$

l_1, l_2 – відповідно протяжність ріжучого виступу і впадини поверхні переривчастого круга.

Підставивши (5) в (4), отримаємо:

$$H = \frac{v_a^2 l_2^2}{8\omega^2 R \cdot \left(\frac{v_a \pm R}{\omega} \right)^2} \quad (6)$$

Формули (5) і (6) описують мікронерівності, що з'являються на поверхні ролика, який шліфується кругами з переривчастою робочою поверхнею. На поверхні утворюється мікрорельєф з кроком S і висотою H . Мікронерівності залежать від геометричних параметрів круга l_1, l_2, R і режимів шліфування v_b і ω .

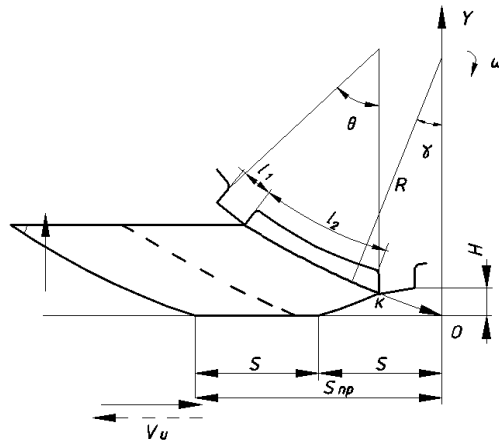


Рис. 3. Схема формоутворення мікропрофілю поверхні обертання на операції круглого переривчастого шліфування

Розрахунок формул (5) і (6) на ЕВМ при різних геометричних параметрах переривчастих кругів і режимах шліфування, дозволив зробити наступний висновок (рис.4). При режимах шліфування, що використовуються на практиці, ($v_b, v_{кр}$) і геометричних параметрах, що застосовують, мікропрофіль, який утворюється на поверхні деталі, зумовлений переривчастістю поверхні круга, має максимальні параметри: $H = 2 \cdot 10^{-4}$ мм, $S'' = 5 \cdot 10^{-1}$ мм. При співставленні висоти мікропрофілю, який характеризується величиною H , з числовим значенням шорсткості Ra (ГОСТ 2789-59) видно, що ця висота відповідає шорсткості поверхні $Ra=0,64-0,8$ мкм. Відповідно, мікропрофіль поверхні деталі, що зумовлений переривчастістю поверхні круга, відповідає технічним вимогам по шорсткості на роликів підшипників, які працюють при високих швидкостях і передають великі навантаження.

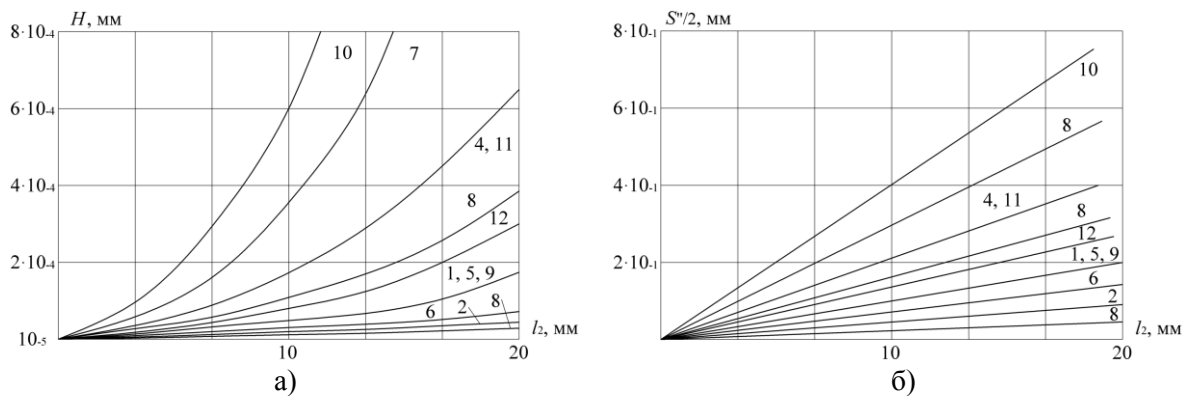


Рис.4. Залежність висоти (а) і довжини (б) мікронерівностей поверхні від протяжності впадини переривчастого круга на різних режимах шліфування ($R_{кр} = 500$ мм): 1) $V_B = 45$ м/хв., $V_{кр} = 35$ м/с; 2) $V_B = 45$ м/хв., $V_{кр} = 40$ м/с; 3) $V_B = 45$ м/хв., $V_{кр} = 45$ м/с; 4) $V_B = 56$ м/хв., $V_{кр} = 35$ м/с; 5) $V_B = 56$ м/хв., $V_{кр} = 40$ м/с; 6) $V_B = 56$ м/хв., $V_{кр} = 45$ м/с; 7) $V_B = 71$ м/хв., $V_{кр} = 35$ м/с; 8) $V_B = 71$ м/хв., $V_{кр} = 40$ м/с; 9) $V_B = 71$ м/хв., $V_{кр} = 45$ м/с; 10) $V_B = 90$ м/хв., $V_{кр} = 35$ м/с; 11) $V_B = 90$ м/хв., $V_{кр} = 40$ м/с; 12) $V_B = 90$ м/хв., $V_{кр} = 45$ м/с

Варто зазначити, що розраховані параметри (H , S'') відповідають мікропрофілю шліфованої поверхні, яка утворюється під час шліфування за один прохід. В реальних умовах шліфування верстату ці параметри будуть значно нижчими.

Порівняння результатів проведеного теоретичного аналізу і розрахунку мікропрофілю шліфованої поверхні, що утворюється, з даними експериментальних досліджень по вимірюванню шорсткості, яка отримана під час шліфування суцільними і переривчастими кругами, показало, що шорсткість, яка досягнута різанням шліфованої поверхні зернами суцільного круга значно вища, ніж мікропрофіль, який формується за рахунок переривчастого процесу шліфування.

В основу розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення був покладений комплекс взаємопов'язаних математичних моделей, отриманих на основі системного аналізу технологічних операцій шліфування.

У комплекс моделей входять:

- Модель робочої поверхні шліфувального круга, яка подається як сукупність поверхонь вершин зерен, які контактували і не контактували з інструментом правки, і яка дає можливість оцінити її стан після правки і під час шліфування;

- Модель профілю шорсткості поверхні, побудована на описі закономірностей копіювання рельєфу робочої поверхні абразивного інструменту на шліфовану поверхню, яка дозволяє розкрити можливості процесу шліфування в забезпеченні заданої сукупності значень висотних і крокових параметрів шорсткості поверхні;

- Моделі формування геометричних і фізико-механічних параметрів якості поверхні, що враховують всі основні фактори процесу шліфування і відрізняються можливістю розрахунку параметрів якості оброблюваної поверхні при різних способах шліфування абразивом в будь-який момент часу протягом всього періоду стійкості шліфувального круга;

- Модель процесу формоутворення поверхонь деталей при обробленні абразивними кругами, яка дозволяє вибрати умови реалізації даного методу оброблення, що забезпечують необхідний стан поверхневого шару (задану шорсткість, хвилястість, що стискають залишкові напруги I роду, відсутність припалювань).

Взаємозв'язок моделей проявляється в наявності спільної системи основних рівнянь і можливості визначення характеру і ступеню впливу кожного фактора абразивного оброблення на формування якості поверхневого шару.

Нижче в ілюстрованій формі показані приклади використання розробленого для операційної системи Microsoft Windows на мові C++ в (рис. 5, 6), що підтверджують його працездатність.

Дане програмне забезпечення дозволить значно знизити трудомісткість технологічної підготовки виробництва в тій її частині, яка стосується навчання висококваліфікованих фахівців та проектування технологічних операцій шліфування.

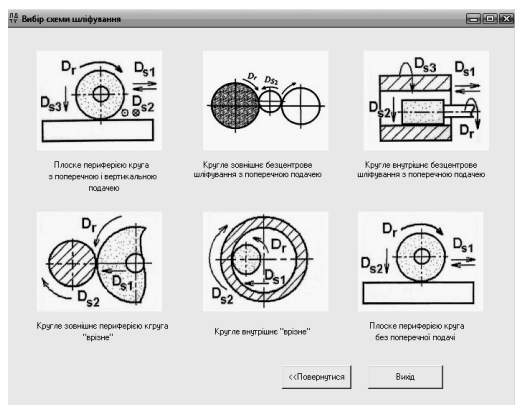


Рис.5. Вибір схеми шліфування

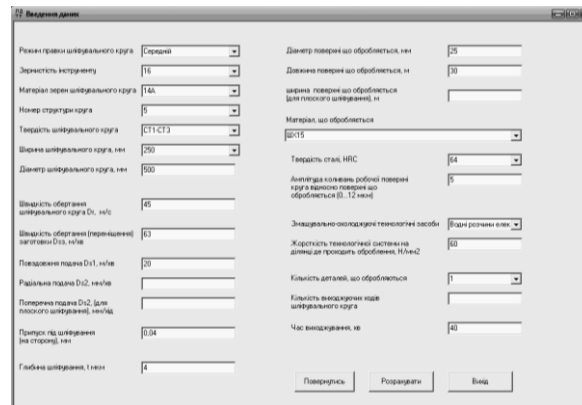


Рис.6. Введення даних для розрахунку

В результаті дослідження та розробленого імітаційного тренажера, можна зробити висновок про високу доцільність використання подібних ресурсів на всіх виробничих підприємствах з метою пришвидшеного освоєння працівником матеріального забезпечення та обладнання, що використовується, та, з яким в подальшому працюватиме робітник. Це підвищує якість ефективності фахівця та знижує витрати на підготовку. В результаті роботи із симулятором-тренажером процесу шліфування робітник швидше освоїть наступні навички:

1. Шорсткість, яка виникає в результаті різання матеріалу зернами суцільного шліфувального круга значно вища, ніж макропрофіль, що утворюється за рахунок переривчастості процесу шліфування.

2. Формування шорсткості поверхні при переривчастому шліфуванні має загальну закономірність зі звичайним шліфуванням і обумовлена спільною дією геометричних факторів, пластичної деформації, температури, вібрації та ін.. Суттєвий вплив на формування шорсткості поверхні має геометрія ріжучого виступу переривчастого круга в повздовжньому і поперечному напрямках і її зміна в часі.

3. На легких режимах шліфування суцільні і переривчасті круги працюють в режимі інтенсивного самозаточування ($g > 0,25$) в різні періоди шліфування. На важких режимах переривчасті круги працюють в умовах часткового самозаточування. Особливо інтенсивно процес самозагострювання протікає при великому часі шліфування ($T = 25-30$ хв). При звичайному шліфуванні на важких режимах суцільні круги в різні періоди працюють із затупленням ($g < 0,1$), що призводить до появи на шліфованій поверхні припалювань і тріщин. При шліфуванні переривчастими кругами в режимі самозагострення на важких режимах важливе практичне значення має довготривале зберігання ріжучої здатності переривчастого круга, що забезпечує хорошу якість поверхневого шару деталей, високу продуктивність оброблення.

Література

1. Белов В.В. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие / В.В. Белов, И.В. Образцов, В.К. Иванов, Е.Н. Коноплев // Тверь: ТвГТУ, 2015. 108 с."
2. Концепция научно-информационного обеспечения программ и проектов государственных участников СНГ в инновационной сфере / Одобрена решением Экономического Совета Содружества Независимых Государств от 13 марта 2009 г.
3. Былкин Б.К., Кононов В.В., Бунто П. А., Гуляев О.В., Свиридов Д.В., Трифонов В.Е., Тихоновский В.Л., Чуйко Д.В. «Опыт применения имитационной модели демонтажа графитовой кладки реактора АМБ-100 Белоярской АЭС» / Исследования наукограда, 2012, №2, с. 59-64
4. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. / А.И. Грабченко. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1985. – 184с
5. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981, – 244 с.
6. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981, – 244 с.
7. Заблоцкий В.Ю., Лук'янчук Ю.А. Про причини появи дефектів робочих поверхонь роликів конічних роликотідшипників. Тези XXVI науково-технічної конференції

професорсько-викладацького складу. Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва. Луцьк 2012. С.251-252.

8. Кузнецов Ю.М. Методологічні основи дослідження процесів формування вихідної шорсткості прецезійних шпіндельних вузлів на опорах кочення / Ю.М. Кузнецов, Ю.М. Данильченко // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», серия машиностроение. – 2002. – №43. – С. 96–99.

9. Ларшин В.П. Интегрированная технологическая система шлифования сложнопрофильных деталей (на примере резьбошлифования): дис. доктора техн. наук : 05.02.08 / Ларшин Василий Петрович. – Одесса, 1999. – 335 с.

10. V. Marchuk, D.Sc., T. Dzhuguryan, D.Sc., I. Marchuk, Ph.D, L. Sachkovska' The effect of temperature on the grinding surface quality ring roller. Перспективні технології та прилади №15 2019 р., Луцький НТУ. С. 58-62.

11. Dzhuguryan T.G., Marchuk V.I., Marchuk I.V..Calculation oscillations of various elements of the elastic system of the center-free grinding machine SASL 5AD. Перспективні технології та прилади №16 , 2020 р.,Луцький НТУ - Ст.160-166

Ю.И. Тулашвили, Ю.А. Лукьянчук, И. В. Марчук, В.И. Марчук, Ив.В. Марчук

Луцкий национальный технический университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НА СИМУЛЯТОРАХ-ТРЕНАЖОРАХ

В данной статье описано использование программного обеспечения, которое используют при подготовке специалистов инженерных специальностей. На производстве пользуются симуляторами для подготовки высококвалифицированных специалистов, что уменьшает затраты времени на внедрение нового или переналадки уже существующего оборудования. Виртуальный тренажер представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить физические опыты на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. В виртуальных тренажерах динамика процессов реализуется с помощью компьютерной анимации - комплекса методов отображения любых объектов во времени. Мультимедийная учебно-научная лаборатория сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и программную оболочку, включая методическое сопровождение лабораторной установки. Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать исходные параметры опыта, тем самым имитируя протекания физических процессов.

Ключевые слова: симулятор, программное обеспечение, шлифовка, финишная обработка.

Yu. Tulashvili, Yu. Lukianchuk, I. Marchuk, Iv.V. Marchuk, V. Marchuk

Lutsk National Technical University

ENSURING TECHNOLOGICAL QUALITY OF MANUFACTURE OF PARTS AFTER TRAINING OF SPECIALISTS ON SIMULATORS-EXERCISES

This article describes the use of software that is used in the training of engineering professionals. The production uses simulators to train highly qualified specialists, which, in turn, reduces the time spent on the introduction of new or reconfiguration of existing equipment. The virtual simulator is a software package that allows you to conduct physical experiments on a computer without direct contact with a real laboratory installation or stand. In virtual simulators, the dynamics of processes is realized with the help of computer animation - a set of methods for displaying any objects in time. Multimedia educational and scientific laboratory combines a simulated dynamic model of equipment and a software shell that includes methodological support of the laboratory installation. The dynamic model is formed from a set of controls that allow you to adjust specific input parameters and read the output parameters of the experience, thereby simulating the flow of physical processes.

Keywords: simulator, software, grinding.

УДК 621.3

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-20

Федорчук-Мороз В.І., канд. техн. наук, доц., Вісин О.О., канд. істор. наук, доц.,

Ліщук М.Є., канд. с.-г. наук, доц.

Луцький національний технічний університет

ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОГО ЕЛЕКТРОМОНТАЖУ

Анотація. *Правила безпечної виконання електромонтажних робіт завжди було актуальним, адже безпосередньо стосується збереженню життя та здоров'я працівників. В статті розкрито питання умов праці електромонтажних робіт, їх безпечно проведення. Особлива увага приділена питанням успішного та якісного виконання електромонтажних робіт, а також чинникам які призводять до травм та ушкоджень. Проведено аналіз виконання робіт на висоті згідно з яким висунуті рекомендації роботодавцю для врахування наявних небезпечних та шкідливих виробничих чинників. Для більшого розуміння небезпечності електромонтажних робіт було визначено ризики їх утворення, тобто моделювання процесів формування та виникнення травмонезбезпечних і аварійних ситуацій.*

Ключові слова. *електромонтажні роботи, безпечність, травматизм, правила охорони праці, небезпечні та шкідливі чинники.*

Постановка проблеми. Збереження здоров'я і життя працівників в процесі трудової діяльності являється одним з найважливіших завдань на будь-якому підприємстві незалежно від форм власності, чи виду діяльності. Тому основним принципом державної політики в галузі охорони праці являється пріоритет життя і здоров'я працівників і повної відповідальності роботодавців за створення належних, безпечних і здорових умов праці.

Згідно законодавства України про охорону праці керівники, роботодавці та спеціалісти підприємства зобов'язані постійно підвищувати рівень промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю та впровадження сучасних технологій з метою вдосконалення безпечних методів праці та усунення шкідливих факторів виробництва.

Електромонтажні роботи відносяться до категорії важких та небезпечних робіт, адже це роботи на висоті, роботи з електрообладнанням, які потребують значної точності та увагу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання охорони праці та шляхи їх впровадження в нашій державі розглядалось багатьма дослідниками, адже це є актуальним і дієвим. Такі науковці як: Халімовський М.О., Кундієва Ю.І., Любимова В.Є., Гогіташвілі Г.Г., Ткачук К.Н. та інші – чимало свої праці присвятили питанню стану та перспектив розвитку охорони праці підприємств. Нажаль сьогодні економіка України втрачає до 4 % ВВП за рахунок виплат на пільги та компенсації постраждалим від нещасних випадків, чи профзахворювань. Натомість держава повинна спрямовувати кошти на профілактику виробничого травматизму та профзахворювань, на нове, сучасне, безпечне обладнання, на нормалізацію умов праці. Закордонний досвід показує, що витрати на дотримання законодавства з охорони праці і покращення умов праці завжди менші ніж витрати пов'язані з ліквідацією наслідків. Нажаль усвідомлення того, що це є фактор соціально-економічного розвитку суспільства до нас ще не дійшло.

Формування цілей статті. Проаналізувати та провести комплексне дослідження питань безпеки проведення робіт при електромонтажі, а також дослідити небезпечні та шкідливі чинники при виконанні таких робіт.

Результати досліджень. Порушення режимів роботи працівників, механізмів та приладів, які використовуються в технологічних процесах, електрифіковане устаткування, інструмент і електропроводка; ручні роботи, що викликають фізичні і нервово-психічні навантаження та ін. – все це найчастіші основними джерелами шкідливих та небезпечних факторів на більшості підприємствах. сучасний технодернізований світ широко використовує різноманітні технології та види робіт, левова частка яких припадає на електромонтажні роботи.

Тому й травматизм під час їх виконання у нашій державі є досить високими і страждають зазвичай висококваліфіковані працівники (статистика показує данні - 65% нещасних випадків), які мають і стаж роботи і високу кваліфікацію. Це пов'язане з тим, що всі роботи пов'язані з

монтажем обладнання однозначно відносяться до важких робіт і зазвичай виконуються в умовах де є небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Проаналізувавши визначення електромонтажних робіт, вважаємо найбільш суттєвим та змістовним наступне формулювання: «електромонтажні роботи – це поняття, яке включає в себе комплекс заходів щодо розробки проекту, організації, а також проведенню монтажу (встановлення) різноманітного електрообладнання у приміщеннях і на відкритому повітрі, в тому числі і електропроводки» [1]. Враховуючи високий рівень травматизму, вважаємо, що такі роботи вимагають значного професійного досвіду, достатніх теоретичних знань і відповідної освіти.

Для успішного та якісного виконання електромонтажних робіт необхідно чітко продумати їх організацію. Перша умова виконання роботи - це складання детального плану розміщення електровузлів. Наявність проекту виконання електромонтажних робіт облегшить роботу та потягне за собою підвищення продуктивності праці, зниження собівартості і т.д.

Аналіз електромонтажних робіт свідчить: «під час монтажу технічно складного електроустаткування великих об'єктів для кращої організації робіт застосовують так звану зональну систему. Для цього, виходячи з обсягу чи характеру передбачуваних електромонтажних робіт, весь об'єкт розбивають на монтажні зони. В кожній зоні виконують певний комплекс робіт, який характеризується їх однорідністю або технологічною завершеністю» [1]. Так звані «електромонтажні зони» повинні бути поділені за безпекою ведення електромонтажних робіт, економічною доцільністю та можливістю гнучкого виробництва.

За словами дослідників: «підвищенню ефективності монтажу (високій продуктивності праці) сприяють раціональні технологічні операції і послідовність їх виконання. З цієї точки зору слід визнати найбільш раціональним ведення монтажу в одну стадію. Такий монтаж починають після закінчення будівельних робіт, у процесі виробництва яких виконувалось встановлення закладних деталей, утворення отворів, борозен, проходи через стіни і перекриття, роботи по підготовці траси. При одностадійному монтажі послідовно по ділянках траси на кожній із них повністю виконують всі монтажні операції, починаючи з підготовки місць кріплення опорних конструкцій. Потім встановлюють конструкції, прокладають і закріплюють струмопроводи і після цього випробовують їх. Така організація робіт дає змогу пройти «трасу робіт» за один раз, повністю виконавши весь монтажний процес» [1].

Отже ігнорування елементарних правил охорони праці однозначно призведе до отримання травми і навіть до нещасних випадків. Провівши аналіз травм при проведенні електромонтажних робіт необхідно виділити найпоширеніші: удари, пошкодження тканин обертовими деталями приладів; електроопіки в результаті прямого або дугового контакту тіла з джерелом струму; травми слизової оболонки очей від попадання пилу і дрібної стружки під час свердління; проблеми з легеннями при попаданні в них пилу від деяких композитних матеріалів (МДФ, склопластики і т.д.)

Значна кількість монтажних робіт відноситься до монтажу вторинних мереж і згідно законодавства до таких робіт допускаються особи старше 18 років, які пройшли:

«- медичний попередній огляд та визнані придатними виконувати електромонтажні роботи на висоті;

- навчання в закладах освіти для виконання робіт з підвищеною небезпекою (у професійно-технічних училищах, навчально-курсівих комбінатах, центрах підготовки та перепідготовки робітничих кадрів, в організаціях) за затвердженою програмою;

- навчання та перевірку знань з електробезпеки;

- спеціальне навчання та атестацію з питань пожежної безпеки;

- вступний інструктаж з охорони праці;

- первинний інструктаж безпосередньо на робочому місці» [2].

Насамперед для допуску до виконання електромонтажних робіт працівнику необхідно обов'язково проходити попередній (періодичний) медичний огляди, який передбачений наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246 [3]. Адже зберегти здоров'я працівника та попередити розвиток ускладнень та погіршень стану здоров'я можна лише під час медогляду. Своєчасне виявлення ознак будь-якого захворювання захистить роботодавця і працівників від нещасного випадку [3].

В Порядку проведення медичних оглядів чітко написано: «При працевлаштуванні робітника роботодавець на підставі Акта визначення категорій працівників, які підлягають попередньому (періодичним) медичному огляду, складеного фахівцем відділу з питань гігієни праці територіального Управління Держпраці, видає направлення, передбачене додатком 3 до п. 2.4 Порядку, та направляє до закладу охорони здоров'я, з яким укладено договір. Далі комісією закладу охорони здоров'я, у складі якої обов'язково має бути лікар із відповідною підготовкою з профпатології, проводиться медичний огляд працівника» [3]. Щодо лікарів при такому огляді то це: терапевт, невропатолог, оториноларинголог, офтальмолог. Такий перелік лікарів в першу чергу зумовлений виявлення хвороб не сумісних з виконанням електромонтажних робіт. Окрім вищеперахованих лікарів, для виконання робіт на висоті необхідний ще обов'язковий огляд хірурга. «Склад лікарської комісії, яка здійснює медичний огляд, може доповнюватися іншими фаховими лікарями. При попередньому медичному огляді обов'язково проводиться рентгенографія органів грудної клітки у прямій проекції. Після проведення всіх необхідних досліджень та оглядів комісія враховує перелік загальних медичних протипоказань до роботи зі шкідливими та небезпечними факторами виробничого середовища і трудового процесу, а також додаткові протипоказання відповідно до конкретних умов праці, що наведені в додатку 5 до Порядку, та визначає придатність працівника до роботи» [3].

Кожен працівник перед виконанням роботи на об'єкті повинен чітко знати всі умови праці та особливості підприємства-замовника.

Перед початком роботи монтажники повинні обов'язково пройти первинний інструктаж про безпечне виконання робіт, причому питання повинні стосуватись не тільки основної професії, а й суміжних, а також ознайомлення з правилами надання першої домедичної допомоги.

Згідно законодавчих норм забороняється допускати монтажників до виконання обов'язків з монтажу вторинних мереж, які мають простудні і хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів [2]. Нажаль, цю вимогу досить часто не беруть до уваги, нехтуючи простудними чи хронічними захворюваннями дихальних шляхів, і як результат нараження працівників на небезпеку, на помилковість дій, і як результат травма, нещасний випадок і т.д.

Всі роботи на висоті (при підйомі над поверхнею вище ніж 1,3 м) потрібно виконувати тільки з риштувань або помостів [4].

Перед початком роботи кожен працівник отримує спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту. Одержані пристрої має перевірити справність та комплектність.

Проаналізувавши вимоги безпеки під час виконання вторинних робіт, для запобігання травмуванню необхідно:

«- під час переміщення та установки панелей, пультів, запобіжників, сигналізації, телемеханіки, а також шаф і щитків із вторинними апаратами необхідно обв'язувати та зачіплювати обладнання, що переміщується, відповідно до схем стропування вантажів;

- забороняється звільняти вантажопідіймальні механізми до закінчення їх встановлення чи кріплення, а також виконувати кріплення обладнання та окремих його елементів тимчасовими дротяними підвісками;

- забороняється перебувати на елементах конструкції і обладнанні під час їх піднімання та переміщення;

- прилади, шини, проводи та кабелі на висоті більше, ніж 1,3 м, слід встановлювати з драбин з полицками (обгородженими поручнями), помостів з огорожею, з телескопічних вишок та гідропідйомників;

- здійснювати монтаж вторинних мереж необхідно після встановлення та закріплення на конструкції всіх передбачених технічною документацією апаратів, приладів та електрообладнання;

- після передачі змонтованої електроустановки наладчикам виконувати електромонтажні роботи на цій установці без їх дозволу забороняється, а усунення недоробок та дефектів в установках, які передані в налагодження, можна виконувати тільки після їх від'єднання» [2].

Аналіз матеріалів спеціального розслідування нещасних випадків, що сталися через падіння потерпілого з висоти, показав, що потерпілі працівники були допущені до виконання робіт на висоті без проходження спеціального навчання і перевірки знань з охорони праці.

Проаналізувавши виконання робіт на висоті роботодавцю необхідно враховувати наявність наступних небезпечних виробничих чинників: основні (падіння працівника, падіння предметів); супутні (дія електроструму, підвищені рівні запиленості, загазованості повітря, підвищені рівні шуму, вібрації, несприятливий мікроклімат, пожежна безпека, тощо) [4].

Засоби індивідуального захисту при виконанні електромонтажних робіт є обов'язковими, але можна спостерігати тенденцію з боку самих працівників про нехтування правилами їх використання. Проаналізувавши нещасні випадки пов'язані з відсутністю ЗІЗ, необхідно навести основні правила їх застосування: робочий одяг не повинен бути занадто вільним, щоб не торкатися частин механізмів, що рухаються; обов'язково використовувати захисні окуляри з небитким склом і рукавиці; при необхідності використовувати респіратори і засоби захисту органів слуху; при роботі без зняття напруги в електроустановках напругою до 1000 В або поблизу них необхідні діелектричні калози.

Щоб уникнути травматизму та покращити умови праці монтажників, роботодавцю необхідно надати всі ЗІЗ, інструкції та неухильно дотримуватись правил охорони праці [5,6].

Для більшого розуміння небезпечності електромонтажних робіт необхідно розгледіти ризики їх утворення, тобто моделювати процеси формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій

У зображеннях процесів формування виникнення аварій та виробничих травм: «усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками і діляться на початкові, проміжні та кінцеві події» [7].

Початкові дії (небезпечні умови, небезпечні дії) виявляють у процесі обстеження об'єктів виробництва, а проміжні та кінцеві входять до схеми на основі логічного аналізу можливих варіантів перебігу подій.

Слід зауважити, що поняття «початкової дії» введено умовно, бо насправді цим подіям можуть передувати інші. Але вони першими помічаються при обстеженні робочих місць та інших об'єктів виробництва.

Причинно-наслідкові зв'язки показано на схемах, що зображують процеси протікання (перебігу) випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими. В результаті нами було одержано логічні моделі процесів, що вивчаються.

Пояснення взаємозв'язків моделі: «кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. Статистично залежні події – це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо жодна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть з'являтися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. У таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні стрілками – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) подій» [7].

Аналізуючи кожну з побудованих логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, ми знаходимо подію, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків.

Дослідивши логічні зв'язки у зворотному напрямку ми знаходимо ту подію (явище), яка є причиною (однією з причин) формування досліджуваного процесу.

Нижче змодельовані декілька травмонебезпечних ситуацій, які можуть мати місце наприклад на підприємстві при виконанні монтажу протипожежних систем сигналізації.

На (рис. 1.) представлена модель процесу при роботі з ручним електромеханічним абразивним інструментом.

1. Робота з ручним електромеханічним абразивним інструментом (при штробленні бетонної поверхні для прокладання кабелів):

- елетромеханічний інструмент не має захисного кожуха НУ₁;
- працівник не використовує ЗІЗ (окуляри, рукавиці) НУ₂;
- при роботі елетромеханічного інструменту руки працюючого знаходиться поряд з абразивним кругом інструмента НД;

- При роботі пил та мікрочастинки летять в сторону рук та очей НС₁, а це відповідно може призвести до травми рук і (або) очей НС₂.

Можливі наслідки – травма, або нещасний випадок.

Міри по усуненню: організувати ефективний контроль при роботі з електромеханічним абразивним інструментом, який повинен мати захисний кожух.

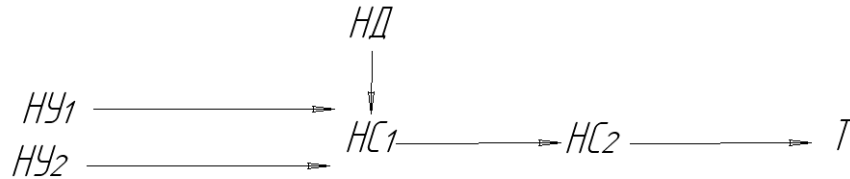


Рис.1. Модель процесу при роботі з ручним електромеханічним абразивним інструментом

2. Робота на висоті при монтажі протипожежної сигналізації (рис.2.):

- при монтажі протипожежної сигналізації не вистарчає драбин НУ₁;
- другий монтажник замість драбини використовує інші підручні засоби НД₁;
- перший монтажник знаходиться на драбина поруч НД₂;
- перекидання чи поломка підручних засобів замість драбини НС₁, і падіння на першого монтажника НС₂.

Можливі наслідки – травма.

Міри по усуненню: закупівля достатньої кількості стійких драбин та перевірити їх на міцність.

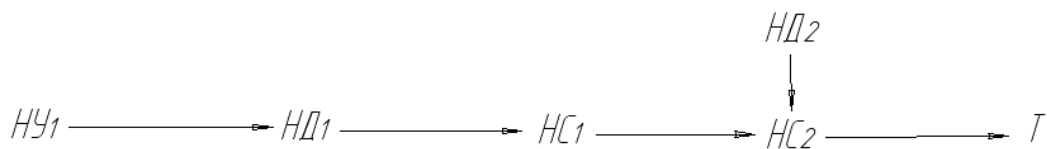


Рис. 2. Модель процесу монтажу протипожежної сигналізації при перебуванні на висоті

3. Монтаж протипожежної сигналізації (рис.3.):

- монтажники не пройшли медичного огляду НУ₁, і серед них можуть бути хворі НУ₂;
- монтажник піднявся на висоту НД;
- втрата монтажником орієнтації внаслідок хвороби (головокружіння, запаморочення, тощо) НС₁. Падіння з драбини НС₂.

Можливі наслідки – травма.

До роботи на висоті допускаються лише після проходження медогляду.

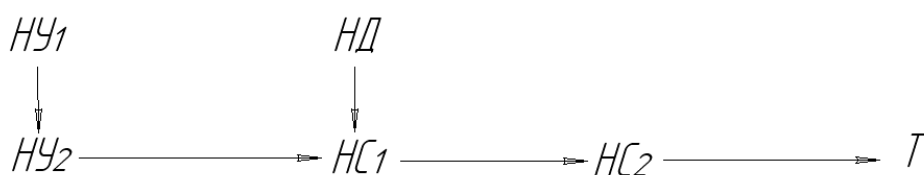


Рис.3. Модель процесу

Для уникнення можливих травмонебезпечних ситуацій необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, обладнання повинно мати запобіжні та захисні короби, забезпечувати монтажників достатньою кількістю допоміжних пристосувань, проводити огляд техніки, вчасно проводити медогляди.

Висновки. Проведено аналіз законодавчої та нормативно-правової бази з охорони праці при виконанні електромонтажних робіт, який засвідчив, що особливу увагу необхідно звертати на дотримання правил електробезпеки при виконанні монтажних робіт на об'єктах, а також наявність та справність захисних огорожень. Для досягнення сприятливих та безпечних умов праці необхідно дотримуватись вимог нормативно-правових актів з охорони праці, правил виробничої санітарії, гігієни праці, а також пожежної безпеки. Окрім цього для уникнення травматизму кожен працівник перед приступанням до роботи повинен чітко знати та виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку об'єкту який обслуговує, виконувати лише доручену роботу, не порушувати правила охорони праці та пожежної безпеки. Перед початком роботи монтажники повинні знати аварійний вихід, знаходження аптечки та засобів первинного пожежогашіння. Обов'язково користуватися за призначенням спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Якщо є медичні протипоказання, до роботи не приступати, особливо якщо це роботи на висоті. Не допускати до виконання електромонтажних робіт працівників, які мають простудні і хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів. Роботодавцю необхідно здійснювати належний нагляд за технічним станом технічних засобів і обладнання, тобто відповідне зберігання та своєчасна заміна спрацьованих деталей згідно вимогам передбаченими технічними умовами заводу-виготовлювача.

Інформаційні джерела

1. Чорна В.В. Технологія електромонтажних робіт : підручник / В.В. Чорна, С.В. Чорний.– Харків : Компанія СМІТ, 2014.– 287 с.
2. Інструкція з охорони праці під час монтажу вторинних мереж/
<https://dnaop.com/html/31965/doc-instrukcijaz-ohoroni-pracipid-chas-montazhu-vtorinnih-merezh>.
3. Про затвердження «Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій», затверджений наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246. Режим постійного доступу: <https://www.sop.com.ua/news/2536-yak-provoditi-medichniy-oglyad-pratsvnikv-yak-vikonuyut-elektromontajn-roboti>.
4. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті, наказ Держгірпромнагляду № 62, від 27.03.2007, зареєстрований в Міністерстві Юстиції України 4.06.2007 р. за N 573/13840. Режим постійного доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0573-07#Text>.
5. Кодекс законів про працю України від 10.12.71 р. № 322-VIII із змінами і доповненнями. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/322-08>.
6. Про охорону праці [Електронний ресурс] : закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
7. Орел С. М., Мальований М.С. Ризик. Основні поняття: Навчал. посіб. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 88 с.

**Федорчук-Мороз В.І., канд. техн. наук, доц., Висын Е.А., канд. истор. наук, доц.,
Лищук М.Е. канд. с.-х. наук, доц.**
Луцкий национальный технический университет

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ЭЛЕКТРОМОНТАЖА

Аннотация. Правила безопасного выполнения электромонтажных работ всегда было актуальным, ведь непосредственно касается сохранению жизни и здоровья работников. В статье раскрыт вопрос условий труда электромонтажных работ, их безопасное проведение. Особое внимание уделено вопросам успешного и качественного выполнения электромонтажных работ, а также факторам которые приводят к травмам и повреждениям. Проведен анализ выполнения работ на высоте согласно которым предъявлены рекомендации работодателю для учета имеющихся опасных и вредных производственных факторов. Для большего понимания опасности электромонтажных работ были определены

© Федорчук-Мороз В.І., канд. техн. наук, доц., Висын О.О., канд. истор. наук, доц.,
Лищук М.Е. канд. с.-г. наук, доц.

риски их образования, то есть моделирование процессов формирования и возникновения травмоопасных и аварийных ситуаций.

Ключевые слова: *электромонтажные работы, безопасность, травматизм, правила охраны труда, опасные и вредные факторы.*

Fedorchuk-Moroz V.I., Visin O.O., Lishchuk M.E.

Lutsk National Technical University

RULES OF SAFE ELECTRICAL INSTALLATION

Abstract. *The rules of safe electrical work have always been relevant, as they are directly related to saving the lives and health of workers. The article reveals the working conditions of electrical work, their safe conduct. Particular attention is paid to the issues of successful and high-quality electrical work, as well as factors that lead to injuries and damage. The analysis of performance of works at height according to which recommendations to the employer for the account of available dangerous and harmful production factors are put forward is carried out. To better understand the dangers of electrical work, the risks of their formation were identified, ie modeling of the processes of formation and occurrence of traumatic and emergency situations.*

Keywords: *electrical work, safety, injuries, health and safety rules, dangerous and harmful factors.*

УДК 621.87

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-21

Фльонц О.В., Кирик О.М.

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

КОНТРОЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАМІРУ ПАРАМЕТРІВ ШЛІЦЕВИХ ВАЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Описано види шліцевих з'єднань та актуальність теми, приведено технічні умови точності при виготовленні і відновленні шліцевих валів сільськогосподарських машин. Розроблена конструкція контрольного пристрою для заміру конструктивних параметрів і шорсткості при їх виготовленні і відновленні. Пристрій для заміру параметрів шліцевих валів виконано у вигляді плити, на якій розміщено основні вузли і деталі. Всі покази надходять через аналогово-цифровий перетворювач до електронно обчислювальної машини і профілографо-профілометром. Крім цього для заміру інших конструктивних параметрів шліцевого вала і шорсткості інших поверхонь можуть встановлюватися додаткові датчики аналогічно вищевказаним. Вказана послідовність роботи пристрою: в центри ділильної головки і задній центр встановлюється еталонний шліцевий вал, з якого за допомогою індуктивних датчиків знімаються всі контрольовані параметри і шорсткість поверхні і встановлюють їх допустимі межі. Приведено визначення величини допустимої похибки встановлення. Визначено вимогу, яку повинна задовольняти схема встановлення заготовки. Зроблено висновки щодо проведених досліджень.

Ключові слова: з'єднання, вал, шорсткість, параметри, похибка.

Вступ. Шліцеві з'єднання набули широких масштабів використання в сільськогосподарських машинах, тому питання їх експлуатації і відновлення мають важливе значення. Вони можуть бути рухомими, які використовуються при встановленні шестерень в коробках передач автомобілів, тракторів, верстатів на шліцевих валах, або нерухомими – нерухоме закріплення шківів, зубчастих коліс, муфт, маховиків на шліцевих валах.

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Питання контролю якості шліцевих валів (ШВ) присвячено цілий ряд робіт [1, 2, 3], однак цілий ряд питань залишилися невирішеними.

Тому метою даної роботи є розробка конструкції і принципу роботи контрольного пристрою для заміру конструктивних параметрів ШВ і шорсткості їх поверхонь.

Виклад основного матеріалу. В машинобудуванні шліцеві вали можуть бути з наскрізними і закритими шліцами, останні складають 65% від загальної кількості типорозмірів. За конструкцією шліци можуть бути прямобічними, які складають 85...90% від загальної кількості валів, які використовуються в машинобудуванні.

Технічні вимоги до шліцевих з'єднань: – посадочні поверхні ШВ виготовляють по 6...7 квалітетам точності з шорсткістю поверхонь $R_a \approx 1,25...2,5$ мкм, а допуски радіального биття відносно осі складають 0,04...0,06 мм. Допуски паралельності шліців відносно осі і симетричності відносно діаметральної площини вала становлять 0,03...0,05 мм на 100 мм довжини.

Пристрій для заміру параметрів шліцевих валів, який зображено на рис.1 виконано у вигляді плити 1, на якій розміщено основні вузли і деталі. На плиті 1 розміщено правий 2 і лівий 3 рухомі блоки, які переміщуються за допомогою гвинтів 4 вздовж направляючих 5, які з одного боку знаходяться у передніх стійках 6, а з другого – у задніх стійках 7, за допомогою електродвигуна 8. Рухомі блоки лівої 3 і правої 2 стійок містять обертові датчики (ОД1) 9, які контактують із зубчастими рейками 10 через зубчасті колеса 11, які розміщені на індикаторних блоках 12, що переміщуються вздовж направляючих 13, розміщених на рухомих блоках 2 і 3.

Індикаторні блоки містять корпуси індикаторів 14 в яких розміщено індикаторні датчики (ІД1) 15, рухомі стержні 16 яких знаходиться в контакті з лапками 17 до яких приєднано щупи 18, що заміряють конструктивні параметри, а щуп 19 шорсткість поверхні шліцевого вала 20.

На рухомих блоках 2 і 3 також розміщені штанги 21, на яких закріплені направляючі 22, вздовж яких переміщуються індикаторні блоки 23, що містять індуктивні датчики (ІД2) 24, нерухомі 25 та рухомі губки 26, з'єднані із індуктивними датчиками.

Всі покази датчиків надходять через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 27 до електронно обчислювальної машини (ЕОМ) 28 і профілографо-профілометром 29. Крім цього для заміру інших конструктивних параметрів шліцевого вала 20 і шорсткості інших поверхонь можуть встановлюватися додаткові датчики аналогічно вищевказаним.

Шліцеві вали своїми центральними отворами встановлюються в центри 30 ділильної головки і задній центр 31 пристрою.

Робота пристрою здійснюється в такій послідовності.

Спочатку в центри ділильної головки 30 і задній центр 31 встановлюється еталонний шліцевий вал 20 з якого за допомогою індуктивних датчиків (ІД2) і (ІД1) знімаються всі контрольовані параметри і шорсткість поверхні і встановлюють їх допустимі межі.

Після цього його знімають і встановлюють шліцевий вал 20, який піддається замірам, у ділильну головку 30 і фіксується центром 31. Вмикається ЕОМ 28 і АЦП 27 і профілометр-профілограф 29. Рухомий блок 2 підводиться до краю шліцевого вала 20 і встановлюються щупи 18 і 19 індикаторного блоку 11 на поверхню впадини шліца та губки 25, 24 на бокові поверхні шліців. Причому одночасно із встановленням вимірних елементів 17, 18, 25, 24 реєструються розміри, відповідно радіус впадин шліцевого вала 20 (датчиком ОД1), та ширину шліца, а також шорсткість поверхні датчиком 19. Вмикається електродвигун 7 і здійснюється переміщення рухомого блока 2 із вимірними елементами вздовж направляючої 4.

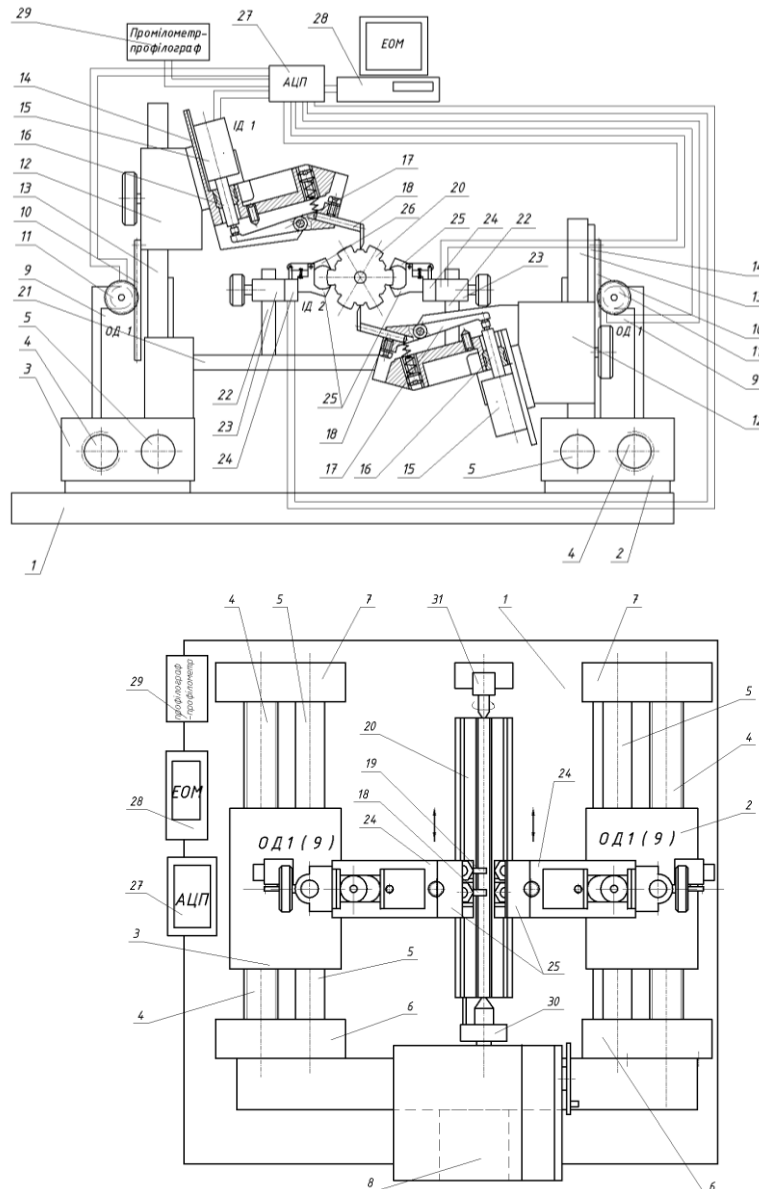


Рис. 1. Контрольний пристрій для заміру параметрів шліцевих валів

Внаслідок коливання щупа 17 та рухомих губок 25 по нерівностям шліцевого вала 20

відбувається зміна індуктивності датчиків 14 (ІД1) та 23 (ІД2). Дані через АЦП 27 надходять до ЕОМ 28 і профілометр-профілограф 29, де програмно обробляються і виводяться результати у вигляді таблиць та графіків. При досягненні рухомим блоком 2 другого кінця шліцевого валу 20 зупиняється електродвигун 8, індикаторні блоки 11, 22 відводять і ділильною головкою перевіряють шліцевий вал і продовжують вимірювання.

Пристосування повинно забезпечити необхідне положення заготовки відносно інструменту. Для партії заготовок це положення не є постійним, а буває з полем розсіювання в деяких межах. Величину поля розсіювання положень міральної бази заготовки для даного виконуваного розміру відносно інструменту називають похибкою ε_y . Для кожної операції, що виконується у конкретній технологічній системі, величину допустимої похибки встановлення можна визначити, використовуючи формулу технологічного допуску δ_t

$$\delta_t = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_H^2 + \varepsilon_{don}^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2} + \sum \Delta_\phi, \quad (1)$$

де Δ_y - похибка виконуваного розміру, спричинена пружними відтисками елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання;

Δ_H - похибка налагодження верстата;

Δ_u - похибка, викликана різним зношуванням різального інструменту;

ε_{don} - допустима похибка установки в даному випадку $\varepsilon_{don}=0$;

Δ_T - похибка, спричинена тепловими деформаціями технологічної системи;

$\sum \Delta_\phi$ - сумарна похибка форми оброблюваної поверхні, яка залежить від геометричних похибок верстата і деформації заготовки при її закріпленні [3].

Допуски форми і розміщення поверхонь для номінальних розмірів до 630 мм встановлюються згідно з вимогами ГОСТ 2.308-79. Допуски циліндричності, круглості профілю поздовжнього січення, площинності, прямолінійності призначають у тих випадках, коли вони менші від допуску відповідного розміру (виключенням є випадки, коли тлумачення граничних розмірів відрізняється від визначеного в СТ СЕВ 45-75). Рекомендують такі рівні відносної геометричної точності, які характеризуються співвідношенням між допуском форми або розміщення і допуском розміру: А – нормальна (=60%); В – підвищена (=40%); С – висока (=25%). В обгрунтованих випадках призначають допуск форми або розміщення менше 25% допуску розміру.

Із виразу (1) отримаємо

$$\varepsilon_{don} = \sqrt{(\delta_t - \sum \Delta_\phi)^2 - \Delta_y^2 - \Delta_H^2 - 3\Delta_u^2 - 3\Delta_T^2}. \quad (2)$$

Запроектвана схема встановлення заготовки повинна задовольняти вимогу: $\varepsilon_y \leq \varepsilon_{don}$.

Вимірювання непряме, тобто дане контрольне пристосування працює за відносним принципом і настроюється по еталону.

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Встановлені технічні вимоги і норми точності шліцевих з'єднань і шліцевих валів сільськогосподарських машин під час їх виготовлення і відновлення.
2. Запропонована конструкція контрольного пристрою для заміру конструктивних параметрів шліцевих валів і їх шорсткості.

Інформаційні джерела

1. Воробьев Л.Н. Технология машиностроения и ремонт машин М.: Высшая школа, 1981,-344с.
2. Гевко Б.М. та інші. Технологія сільськогосподарського машинобудування К.: "Кондор", 2006, -495 с.
3. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении М.: Машиностроение, 1971,-387с.

4. Патент на корисну модель №22755, Україна. Контрольний пристрій для заміру параметрів корпусних деталей / Гевко І.Б., та інші. – Бюл. №5, 2007.

Фльонц О.В., Кирик О.М.

Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанський агротехнічний інститут»

КОНТРОЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАМЕРА ПАРАМЕТРОВ ШЛИЦЕВОГО ВАЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Описаны виды шлицевых соединений и актуальность темы, приведены технические условия точности при изготовлении и восстановлении шлицевых валов сельскохозяйственных машин. Разработанная конструкция контрольного устройства для замера конструктивных параметров и шероховатости при их изготовлении и восстановлении. Устройство для измерения параметров шлицевых валов выполнен в виде плиты, на которой размещены основные узлы и детали. Все показы поступают через аналогово-цифровой преобразователь к электронно вычислительной машине и профилографы-профилометры. Кроме этого для замера других конструктивных параметров шлицевого вала и шероховатости других поверхностей могут устанавливаться дополнительные датчики аналогично вышеуказанным. Указанная последовательность работы устройства: в центры делительной головки и задней центр устанавливается эталонный шлицевой вал, с которого с помощью индуктивных датчиков снимаются все контролируемые параметры и шероховатость поверхности и устанавливаются их допустимые пределы. Приведены определения величины допустимой погрешности установки. Определены требования, которые должна удовлетворять схема установки заготовки. Сделаны выводы о проведенных исследованиях.

Ключевые слова: соединение, вал, шероховатость, параметры, погрешность.

Flonts O.V., Kyryk O.M.

Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

CONTROL DEVICE FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF SLOT SHAFTS OF AGRICULTURAL MACHINES

The types of splined joints and the relevance of the topic are described, the technical conditions of accuracy in the manufacture and restoration of splined shafts of agricultural machinery are given. The design of the control device for measurement of design parameters and roughness at their manufacturing and restoration is developed. The device for measuring the parameters of the splined shafts is made in the form of a plate on which the main components and parts are placed. All readings come through an analog-to-digital converter to an electronic computer and a profilograph-profilometer. In addition, to measure other design parameters of the splined shaft and the roughness of other surfaces can be installed additional sensors similar to the above. The sequence of operation of the device is specified: in the centers of a dividing head and the back center the reference splined shaft from which by means of inductive sensors all controlled parameters and surface roughness are removed and their admissible limits are established is established. The definition of the value of the allowable installation error is given. The requirement which the scheme of installation of preparation has to satisfy is defined. Conclusions are made on the conducted researches.

Keywords: connection, shaft, roughness, parameters, error.

UDC 539.3 / 6

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-22

Yu. Kholodnyak, Ph.D., A. Kostikov, Ph.D., S. Podlesny, Ph.D., S. Kaporovich, Ph.D.

Donbass State Engineering Academy

THE SOFTWARE ENHANCEMENT FOR SIMPLIFIED STRENGTH COMPUTATION OF I-BEAM

Abstract. *The article is devoted to the subsequent development of previously created end-to-end computer programs for simplified strength analysis of statically determinable double-support and cantilevered I-beams. The aim of this development is to give these programs the additional functions to determine linear and angular displacements in beams by using the Mohr method. To this end, analytical dependencies have been established to determine the values of bending moments in the beam sections from the action of single force factors - the force and moment applied at arbitrary points of these beams. Based on these dependencies, an additional computation for determining displacements were made that improved the capacity of the existing programs for calculating beam strengths. The modified programs calculate the Mohr integrals, thereby determining the desired displacements and plotting their changes along the length of the beams. These programs have been successfully tested in a series of calculations of beams of various types and demonstrated its efficiency and effectiveness. The introduction of the modified programs in the educational process will provide students with new opportunities in the formation of their professional skills. The indicated programs will be useful for professional practitioners as a fairly simple calculation tool for solving real technical problems.*

Keywords: *I-beam, strength, displacements, simplified methodology, Mathcad, computer programs, calculation examples.*

Introduction and statement of the problem. The rapid development of technology requires the preparation of highly educated engineering personnel to create new models of machines, mechanisms, materials, structures. To be successful latest achievements in science and technology have to fill the engineering training disciplines in higher education.

Strength of Material is key course for future engineers of almost all specialties, so the level of training engineers to solve complex technical task depends on course content compliance with up-to date knowledge.

Much attention in this course has traditionally been given to calculations on the strength and rigidity of core structures, especially beams, which are key elements of many machines and structures.

Beams have various forms of cross-sections, but the most common among them is the I-profile (Fig. 1), which combines significant economic advantages and ease of installation.

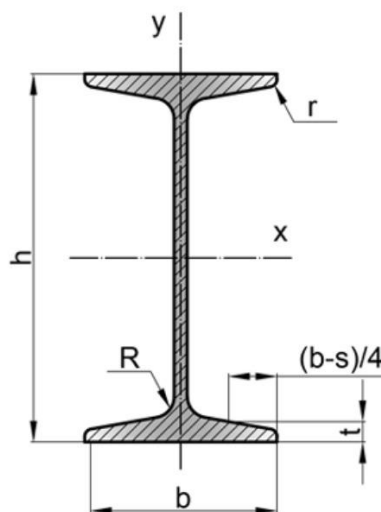


Figure 1 – I-beam (GOST 8239-89)

Strength calculations for statically defined I-beams usually consist of the following steps [1]:

- definition of support reactions (not required for cantilever beams);
- making diagram of transverse forces and bending moments;
- selection of the required I-beam size based on strength condition under normal stresses;
- check the selected I-beam size for the conditions of the strength at the tangent and equivalent stresses.

That procedure in the case of its implementation in the traditional ("manual") way requires considerable time and high enough skills of performers, which is its major drawback.

A certain improvement of this procedure is provided by the concept of the use of so-called safe factor spaces of I-beam, which formalizes and considerably simplifies the last two stages of calculation, while leaving the previous ones [2, 3].

To maximize the benefits of this concept, cross-cutting applications have been created for strength calculations of statically defined double and cantilever I-beams [4, 5].

The aim of the work. The purpose of this work is to extend these programs by attaching calculation blocks to them to determine linear and angular displacements in beams.

Results of the work. Let's explain the essence of these movements. To do this, consider a beam with an arbitrary load, which does not lead to the appearance of plastic deformation in it (Fig. 2) As a result of this load, the beam loses its original straight shape and becomes convex. The longitudinal axis of the beam, which is called the elastic line, is bent and its points receive vertical linear displacements, which are usually denoted by the letter δ . At the same time, the cross sections of the beam receive angular displacements - angles of rotation about horizontal axes passing through one or another point of the elastic line. Angular displacements are usually denoted by the letter Θ . The indicated displacements are given by the indexes of the corresponding points.

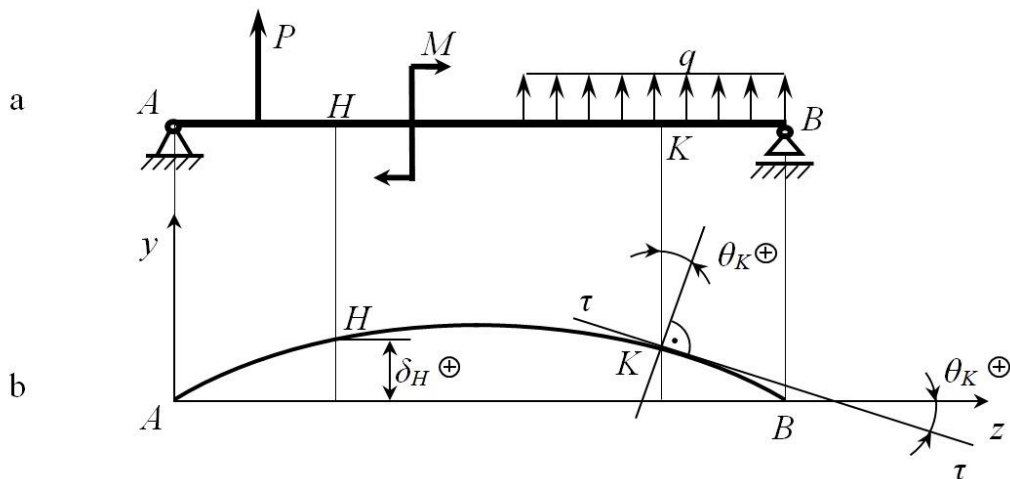


Figure 2 – Scheme for the concepts of linear and angular displacements
a – loaded beam; b – elastic line of the beam with marked displacements of points

To determine the linear and angular displacements in beams, we use the universal Moor method [6].

According to this method, to calculate the deflection of the beam at point H and the angle of rotation of the section passing through the point K (hereinafter - section K), it is necessary to calculate the corresponding integrals:

$$\delta_H = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_L M(z) \cdot \bar{M}(z) \cdot dz, \quad (1)$$

$$\theta_K = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_L M(z) \cdot \bar{M}'(z) \cdot dz, \quad (2)$$

where $E \cdot J_x$ is the stiffness of the beam cross section when bending in the yz plane (see Fig. 2);
L is the length of the beam;

$M(z)$ is the dependency of the bending moment from position z on the beam for a given load;

$\bar{M}(z)$ is the dependency of the bending moment from position z on the beam for the vertical unit force $P = 1$, which is applied at point H ;

$\bar{M}'(z)$ is the dependency of the bending moment from position z on the beam for a unit bending moment $M = 1$, which is attached at cross-section K .

These dependencies are defined by above programs for calculating the strength of I-beams. The dependencies $\bar{M}(z)$ and $\bar{M}'(z)$ from the positions of application of unit force factors to the beam are similarly defined in this paper.

Considering that the graphs of dependences $\bar{M}(z)$ (i.e. load plots of bending moments) in the calculations of the beams for strength were constructed on points with step Δz , we apply the same approach with respect to the dependences $\bar{M}(z)$ and $\bar{M}'(z)$.

In this case, the calculation of the integrals (1) and (2) will be reduced to determine the corresponding sums (Fig. 3):

$$\delta_H = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \bar{M}_i \cdot \Delta z, \quad (3)$$

$$\theta_K = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \bar{M}'_i \cdot \Delta z, \quad (4)$$

where $i = 1 \dots n$ are the step numbers;

n is the number of steps on the length of the beam;

$M_i, \bar{M}_i, \bar{M}'_i$ are the current values of bending moments from a given load, unit force and unit torque.

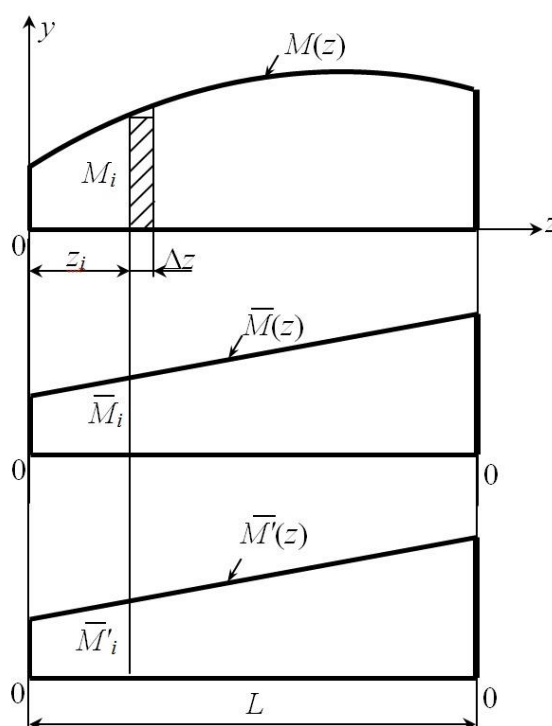


Figure 3 – Scheme for formulas (3) and (4)

Formulas (3) and (4) are approximate, but given the small size of the steps (1...2 cm), they can be considered sufficiently accurate.

The definition of displacements is a logical extension of the previously created programs for calculating the strength of I-beams and attached to them in the form of an additional calculating block.

In order to activate this block, it is necessary to enter into the existing programs the coordinates of the points at which the movements – ℓ_H and ℓ_K are defined.

Along with defining displacements at individual points of beams, enhanced programs also have the ability to build graphs of dependencies of $\delta_H(z)$ and $\theta_K(z)$ from distance along beam. To do this, enter the appropriate intervals $0 \leq \ell_H \leq L$ and $0 \leq \ell_K \leq L$.

The work of enhanced programs was investigated in a series of calculations of the different types steel beams Art.3 (Figs. 4 – 6). For these beams the problem of finding the corresponding I-beam size was solved based on third strength theory with subsequent determination of linear and angular displacements in marked points and plotting the corresponding dependencies from distance along beam. In these calculations it is accepted: $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

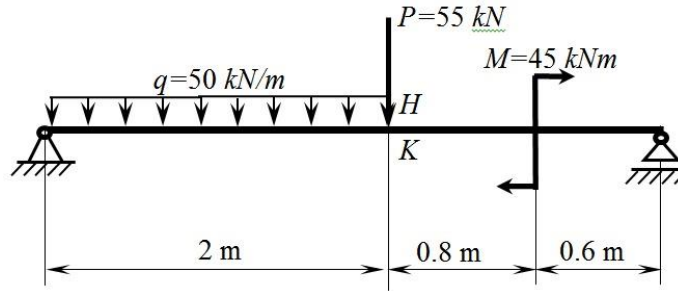


Figure 4 – Two-support beam plot

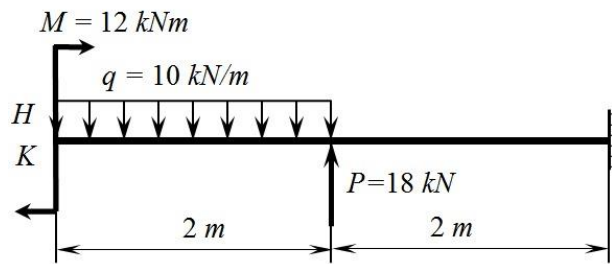


Figure 5 – The cantilever beam plot with right support

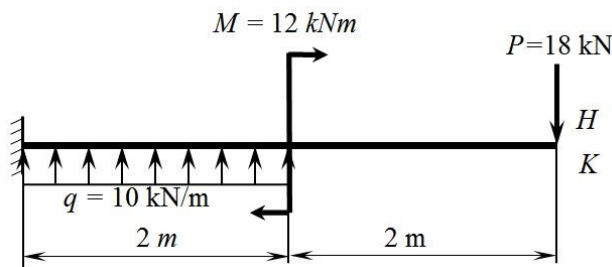


Figure 6 – The cantilever beam plot with left support

For computer calculations control, appropriate “manual” calculations were also performed using the traditional method of strength materials [1].

The results of both series of calculations are presented in Table 1. As an illustration of the completed development, a computer case of the two-support beam calculation is also illustrated (see Fig. 4).

The presented materials clearly indicate the workability and effectiveness of the enhanced programs. Compared to traditional methods of similar calculations, they significantly simplify and speed up the process of calculations, without reducing its accuracy

Table 1

Meanings	Computer Calculations results			Hand calculations results		
	Beam Fig.4	Beam Fig.5	Beam Fig.6	Beam Fig.4	Beam Fig.5	Beam Fig.6
I-beam size	27a	14	27a	27a	14	27a
δ_H , mm	- 5,986	- 50,000	- 37,200	- 5,989	- 50,117	- 37,213
Θ_K , deg.	- 0,124	- 0,467	0,808	- 0,124	- 0,467	0,806

COMPUTER VARIANT OF CALCULATION OF TWO-SUPPORT BEAM

1. Input of concentrated forces, moments of couples and their location:

Enter the concentrated forces P , its position d , moments of couples M and its positions c

$$P := \begin{pmatrix} -55 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN} \quad d := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad M := \begin{pmatrix} 45 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN}\cdot\text{m} \quad c := \begin{pmatrix} 2.8 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

2. Input of the length of beam, the support positions, the distributed loads, its positions and lengths:

Enter the distributed loads q , its positions a , its length b , the length of the beam L and the support positions on the beam l_1 та l_2

$$q := \begin{pmatrix} -50 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad a := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad b := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad L := 3.4 \text{m} \quad l_1 := 0 \text{m} \quad l_2 := 3.4 \text{m}$$

3. Determination of the support reaction forces of the beam:

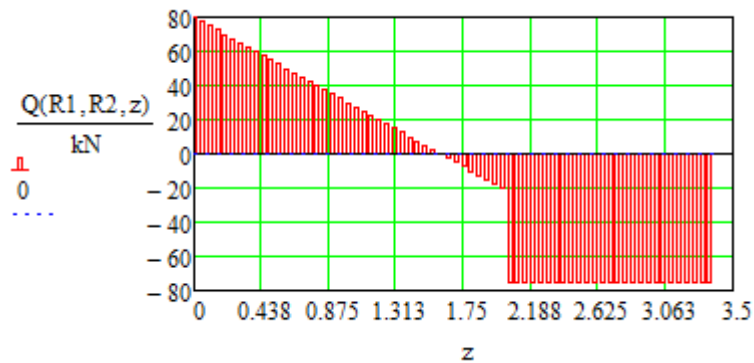
$$R2 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[\sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i - \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_1)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(a_i + \frac{b_i}{2} - l_1 \right) \right] \right]$$

$$R2 = 7.5 \times 10^4 \text{N}$$

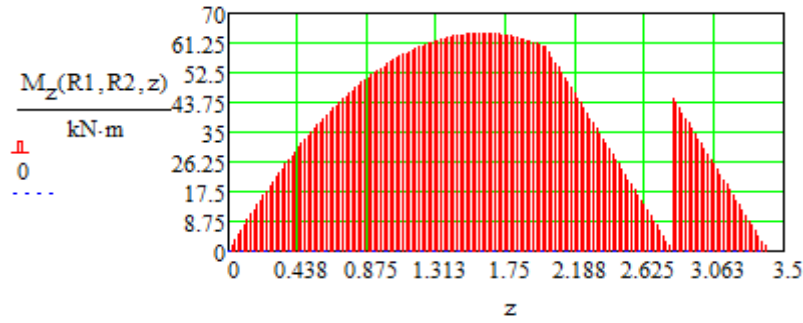
$$R1 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[- \sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i + \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_2)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(l_2 - a_i - \frac{b_i}{2} \right) \right] \right]$$

$$R1 = 8 \times 10^4 \text{N}$$

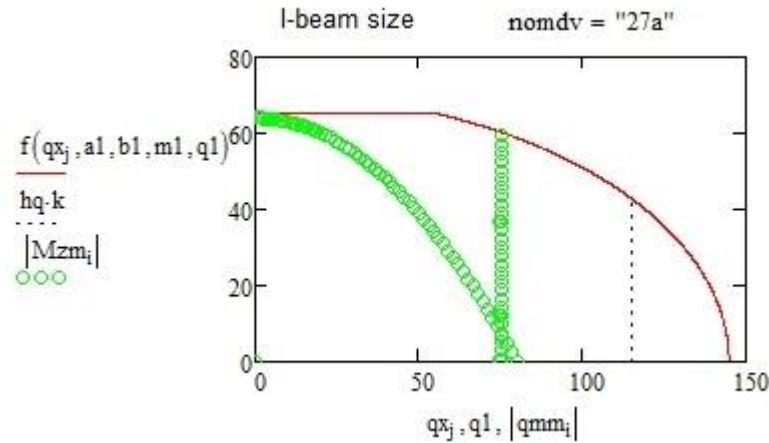
4. Plot of the shear force diagram:



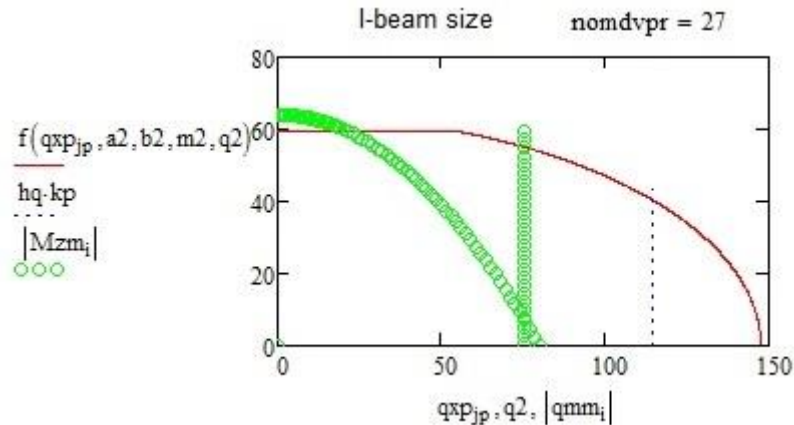
5. Plot of the bending moment diagram:



6. Determination of the I-beam size:



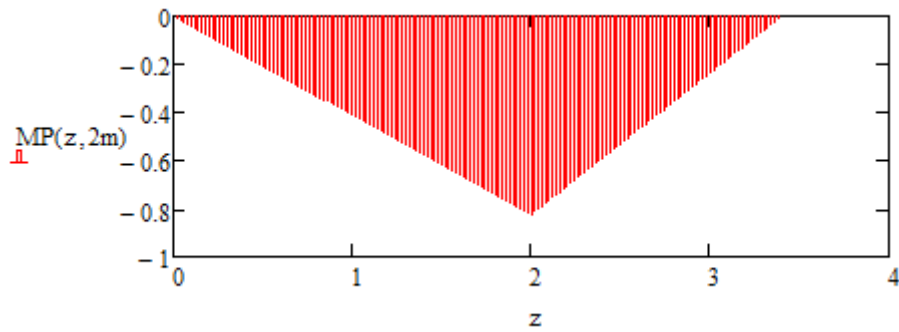
7. Comparison with the previous I-beam size:



8. Dependencies of bending moment from position l_H of unit force and coordinate z of beam cross-section:

$$\begin{aligned}
 MP1(z, l_H) &:= \begin{cases} z - l_H & \text{if } (z > l_H) \wedge (z \leq l_1) \\ z - l_H - \frac{(l_2 - l_H)}{(l_2 - l_1)} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} &
 MP2(z, l_H) &:= \begin{cases} -\frac{(l_2 - l_H)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_H) \\ -\frac{(l_2 - l_H)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) + (z - l_H) & \text{if } (z > l_H) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 MP3(z, l_H) &:= \begin{cases} \frac{(l_H - l_2)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z \geq l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ l_H - z & \text{if } (z > l_2) \wedge (z \leq l_H) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} &
 MP(z, l_H) &:= \begin{cases} MP1(z, l_H) & \text{if } (l_H \geq 0) \wedge (l_H \leq l_1) \\ MP2(z, l_H) & \text{if } (l_H > l_1) \wedge (l_H \leq l_2) \\ MP3(z, l_H) & \text{if } (l_H > l_2) \wedge (l_H \leq L) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

9. Construction of a plot of bending moments when the beam is loaded by unit force at point H :

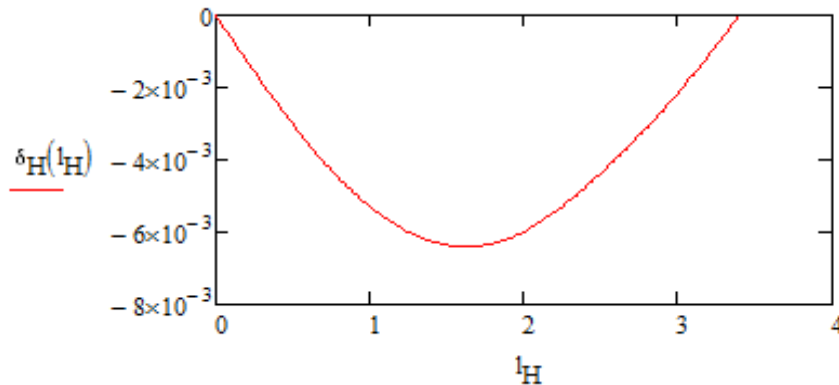


10. Finding the deflection δ_H at the given point of the beam:

$$E := 2 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad J_x := 5500 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\delta_H(l_H) := \left(\int_0^L MP(z, l_H) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \right) \cdot K_{ff} \quad \delta_H(2\text{m}) = -5.98562037 \times 10^{-3} \text{ m}$$

11. Constructing a graph of change δ_H from distance along the beam:

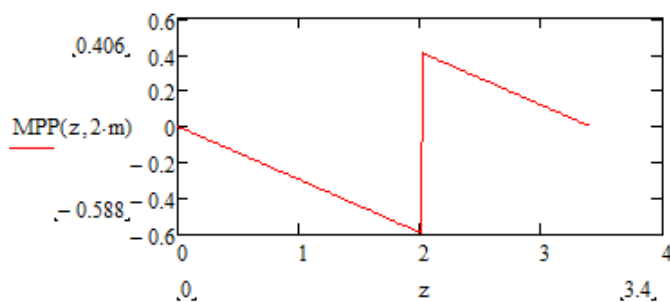


12. Dependences of the bending moment on the coordinate of the cross section of the beam z and the position of a unit moment l_k :

$$MPP1(z, l_k) := \begin{cases} 1 & \text{if } (z > l_k) \wedge (z \leq l_1) \\ 1 - \frac{1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad MPP2(z, l_k) := \begin{cases} \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_k) \\ \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) + 1 & \text{if } (z > l_k) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$MPP3(z, l_H) := \begin{cases} \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z \geq l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ -1 & \text{if } (z > l_2) \wedge (z \leq l_H) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad MPP(z, l_H) := \begin{cases} MPP1(z, l_H) & \text{if } (l_H \geq 0) \wedge (l_H \leq l_1) \\ MPP2(z, l_H) & \text{if } (l_H > l_1) \wedge (l_H \leq l_2) \\ MPP3(z, l_H) & \text{if } (l_H > l_2) \wedge (l_H \leq L) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

13. Creation of the bending moments diagram when the beam is loaded by unit moment at point K :

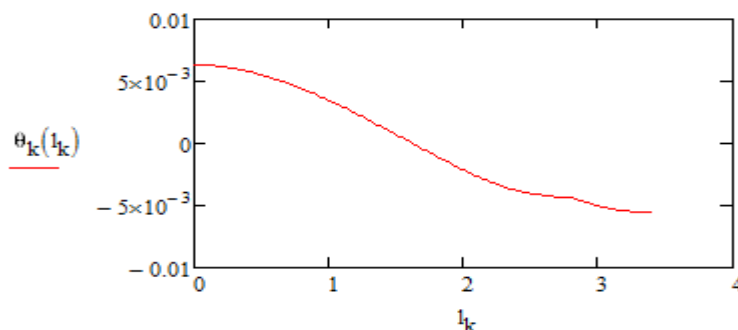


14. Finding the angle of rotation of the cross-section θ_k at a given point of the beam:

$$\theta_k(l_k) = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_0^L MPP(z, l_k) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \quad \theta_k(2-m) = -2.164 \times 10^{-3}$$

15. Plot of the graph of change θ_k from distance along the beam:

$$l_k = 0m, 0.02m.. L$$



Conclusions. An additional calculation module has been developed for previously created end-to-end computer programs for simplified calculation of the strength of statically defined two-support and cantilever beams.

The developed module allows to determine the linear and angular displacements at given points of beams by the Moore method and to plot their graphs.

Enhanced by this module, these existing programs have been successfully tested in a series of calculations of beams of different types, demonstrating their workability and effectiveness. Compared to similar "manual" calculations, they significantly simplify and shorten the calculation process over time, without reducing its accuracy.

The implementation of enhanced software in the educational process will give students new opportunities to develop their professional skills. The mentioned programs as a simple enough calculation tool will also be useful for practitioners in solving their real technical problems.

The work in this area cannot be considered as complete. The challenges of combining both enhanced programs and increasing the variety of beam profiles (i.e, cross-sectional configurations) that are appropriate for them remain relevant.

References

1. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу «Опір матеріалів»: навчальний посібник / Л. В. Кутовий [та ін.]. – Краматорськ: ДДМА 2007. – 220 с.
2. Холодняк Ю.С. О методике изложения вопросов прочности двутавровой балки / Ю.С. Холодняк, А.В. Периг, И.А. Матвеев // Современное образование и интеграционные процессы: сб. науч. раб. – Краматорск, ДГМА, 2012. – С. 351 – 362.
3. Холодняк Ю.С. Совершенствование методики прочностного расчёта двутавровой балки и её изложения в курсах технических дисциплин / Ю.С. Холодняк, А.В. Периг, И.А. Матвеев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – С. 77 – 90.

4. Про комп'ютерні програми до спрощеної методики комплексної оцінки міцності двотаврових балок / Ю.С. Холоднюк [та ін.] // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. пр...– Краматорськ: ДДМА, 2019. – № 3 (47).– С. 72 – 81.

5. About computer programs for simplified methodology of complex assessment of strength of two – beam beams / Yu.S. Holodnyak [et al.] // Перспективні технології та прилади: зб. наук. пр.. – Луцьк: НТУ, 2019. – №15. – С.99 – 108.

6. Писаренко Г. С. Опір матеріалів / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Є. С. Уманський. – К.: Вища школа, 2004. – 655 с.

Холоднюк Ю.С., Костіков О.А., Подлесний С.В., Капорович С.В.

Донбаська державна машинобудівна академія

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СПРОЩЕНОГО РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Стаття присвячена розробці додаткового розрахункового блоку до раніше створених наскрізних комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність статично визначуваних двохопорних і консольних двотаврових балок. Метою даної розробки є надання вказаним програмам додаткових функцій визначення лінійних і кутових переміщень в балках за методом Мора. З цією метою встановлені аналітичні залежності для визначення величин згинальних моментів у перерізах балок від дії одиничних силових факторів – сили і моменту, прикладених у довільних точках цих балок. На основі цих залежностей був створений додатковий розрахунковий блок з визначення переміщень, який продовжив існуючі програми розрахунків балок на міцність. Подовжені програми обчислюють інтеграли Мора, тим самим визначаючи шукані переміщення і будуючи графіки їх зміни по довжині балок. Ці програми пройшли успішну апробацію в серії розрахунків балок різних типів, продемонструвавши свою працездатність і ефективність. Впровадження подовжених програм у навчальний процес надасть студентам нові можливості в формуванні у них професійних навичок. Вказані програми як достатньо простий розрахунковий засіб будуть корисними також і для фахівців – практиків при розв'язанні ними реальних технічних задач.

Ключові слова: двотаврові балки, міцність, переміщення, спрощені розрахунки, *Mathcad*, комп'ютерні програми.

Холоднюк Ю.С., Костіков А.А., Подлесний С.В., Капорович С.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРОЩЁННОГО РАСЧЁТА НА ПРОЧНОСТЬ ДВОТАВРОВЫХ БАЛОК

Статья посвящена разработке дополнительного расчётного блока к ранее созданным сквозным компьютерным программам упрощённого расчёта на прочность статически определимых двухопорных и консольных двутавровых балок. Целью данной разработки является придание указанным программам дополнительных функций определения линейных и угловых перемещений в балках по методу Мора. С этой целью установлены аналитические зависимости для определения величин изгибающих моментов в сечениях балок от действия единичных силовых факторов – силы и момента, приложенных в произвольных точках этих балок. На основе этих зависимостей был создан дополнительный расчётный блок по определению перемещений, удлинивший существующие программы расчётов балок на прочность. Удлиненные программы вычисляют интегралы Мора, тем самым определяя искомые перемещения и строя графики их изменения по длине балок. Эти программы прошли успешную апробацию в серии расчётов балок различных типов, продемонстрировав свою работоспособность и эффективность. Внедрение удлиненных программ в учебный процесс предоставит студентам новые возможности в формировании у них профессиональных навыков. Указанные программы как достаточно простое расчётное средство будут полезными и для специалистов – практиков при решении ими реальных технических задач.

Ключевые слова: двутавровые балки, прочность, перемещения, упрощённые расчёты, *Mathcad*, компьютерные программы

УДК 621.74

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-23

¹Чернета О.Г., к.т.н., доц., ¹Сасов О.О., к.т.н., доц., ¹Шматко Д.З., к.т.н., доц., ¹Аверянов В.С., к.т.н., доц.¹Дніпровський державний технічний університет

ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР ДЕТАЛІ ІЗ СТАЛІ 45 ПІСЛЯ ЗМІЦНЕННЯ БОРУВАННЯМ І ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

В роботі досліджені технології обробки і зміцнення поверхневого шару деталей із сталі 45, що на першому етапі передбачають відновлення геометрії поверхні, борування і лазерну обробку борованого шару. Проведений аналіз структуроутворення пошарових зон в залежності від технологічних методів обробки, розроблена методика визначення параметрів мікротвердості, пружності, коефіцієнту пластичності відповідних локальних зон за допомогою приладу "Micron-gamma". Проведені дослідження фізико-механічних властивостей робочих шарів і мікротвердості. За результати проведених досліджень на відповідних зразках деталей із сталі 45 отримані зображення мікроструктур робочих поверхонь, приведені таблиці і графіки розподілу мікротвердості поверхневого шару деталі. Представлені результати доводять про доцільність використання розроблених технологій відновлення і зміцнення широкого спектру деталей із сталі 45 у машинобудуванні.

Ключеві слова: зносостійкість, відновлення деталей, технологічні способи обробки, металографічні дослідження, робочі поверхні, деталі, мікроструктура.

Постановка проблеми.

Розвиток виробництва в умовах ринкової економіки не можливий без вирішення проблем підвищення якості і конкурентоспроможності виготовляємих машин. Показник якості машини – це кількісна характеристика одного або декілька її властивостей, що розглядається безпосередньо до визначених умов виготовлення і експлуатації даної машини. Для оцінки якості машин застосовують одиничні і комплексні показники. Суттєвий вплив на якість виробів оказують властивості матеріалів, що застосовують при виготовленні деталей. Властивості матеріалів поділяють на механічні, технологічні, хімічні, структурні і експлуатаційні. При масовому виробництві сучасних автомобілів, спостерігається суттєве збільшення потужності, швидкісних режимів експлуатації і як наслідок підвищення вимог до деталей, що працюють в тяжких умовах експлуатації. Використання дефіцитних компонентів для виготовлення легованих і високолегованих сталей значно підвищує собівартість матеріалу. В той же час при виготовленні деталей перспективним напрямом є подальше використання деталей із сталі 45 [1-3]. При відповідних способах обробки поверхневого шару можливо підвищити в 3-4 рази зносостійкість і корозійну стійкість деталей за рахунок модифікації їх поверхневого шару і трансформації мікроструктури, суттєво підвищити ресурс деталей, знизити собівартість виготовлення деталей, витрати коштовних матеріалів при збереженні якісних і фізико-механічних характеристик, показників надійності, довговічності і зносостійкості.

Комплексне вирішення проблем формування поверхневого шару деталей автомобілів недостатньо досліджене і потребує суттєвого доопрацювання.

Метою роботи є дослідження процесів зносу і розробка технологічних способів відновлення і зміцнення робочих поверхневих шарів деталей автомобілів, виготовлених із сталі 45.

Сучасні технології обробки деталей дозволяють керувати фізико - механічними властивостями і структуро утворенням в матеріалах машинобудівного призначення. Зміцнення поверхневого шару сталей здійснюється шляхом різних варіантів обробок і їх комбінацій, що передбачають утворення в поверхневому шарі міцних і надміцних структур. Використовуючи новітні технології зміцнення сталей є можливість збільшити в рази мікротвердість робочих поверхонь деталей за рахунок керування фізико – механічними властивостями і утворення відповідних надміцних мікроструктур.

В табл.1 наведений хімічний склад, основні характеристики і фізико механічні властивості сталі 45 при звичайних, традиційних методах термічної, хіміко – термічної, термо - механічної обробки.

Таблиця 1

Хімічний склад, основні характеристики і фізико механічні властивості середньо вуглецеві сталі – Ст45

Хімічний склад Ст45								Види обробок								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Показники фізико механічні властивості середньо-вуглецевих сталі Ст45								
0,42	0,17	0,5	0,035	0,04	0,25	0,3	0,3	E, МПа	σ_b , МПа	σ_T , МПа	KCU, дж/см ²	δ , %	Ψ , %	ТО, ХТО, ТМО (830 ⁰ С)	НВ	Мікроструктура
0,5	0,37	0,8						223	600 900-1100	350 700-850	49 250	15 21	40 50	Гарт у маслі	311-321 351	Тр+Ф Троосто-мартенси
														Гарт у воді Центр	277-293	Тр + Ф Сорб
														ТВЧ ЛО	524 - 580	Гарденіт (безстр. М)

За даними [1], [2] (таблиця 1) наданий хімічний склад середньо – вуглецевої сталі 45. Мікроструктура сорбіту характерна для Ст 45 після нормалізації. При гарті з високим відпуском для середньо вуглецевої сталі Ст 45 характерна структура сорбіту з окремими колоніями фериту з твердістю НВ 250 -310.

При гарті в маслі і гарті з середнім відпуском мікроструктури Ст 45 – сприяє утворенню трооститу з феритом.

Гарт у воді і гарт з низьким відпуском сприяє утворенню мікроструктури мартенситу безструктурного мартенситу (гарденіту [3]) (Ст45 НВ 524-580 - гарт ТВЧ, ЛО).

Подальше збільшення мікротвердості поверхневого шару середньо вуглецевих сталей можливо тільки за рахунок використання спеціальних обробок з скупченням у поверхневих шарах надтвердих утворень (карбідів, карбонітридів, нітридів, боридів металів Fe_2B , FeB , Mn_7C_3 , Cr_7C_3 , $(Fe, Cr)_7C_3$, $Me_7(CN)_3$, Fe_3N).

Це можливо за рахунок використання комбінованих і спеціальних способів обробки (цементация, азотування, борування, лазерна обробка, ШПА, ТВЧ та т.п.). Мікротвердість поверхневих шарів (150 - 200 мкм) середньо вуглецевих сталей при застосуванні перелічених способів обробки збільшується до $H_d=13000 - 17000$ МПа при боруванні і ЛО [4], [5]. Разом з підвищенням показників мікротвердості, зносостійкості значно погіршуються показники фізико механічних властивостей – пластичності, коефіцієнти збільшення $\delta(\%)$, стиснення $\psi(\%)$, тріщино утворення KCU дж/см².

Боридний шар має характерну текстуру (рис.1) – голчастий шар з мікротвердістю до 18000 МПа на сталі 45. Текстура, що утворюється в результаті сумісної дифузії бору і вуглецю – карбіди, бориди, карбобориди, перешкоджають дифузійним процесам. На рис. 1. під зоною борованого шару з голчастою структурою надана деталізоване зображення борованого перліту з напівзруйнованими цементит ними пластинами. Перліт, що початково існує в сталі до дифузійного насичення увесь піддався фрагментації, а новоутворені пластини перліту вистроєні вздовж лінії градієнту концентрації і в значній мірі фрагментації не підверглися. [2]. На рисунку 1 надана мікроструктура поверхні деталі із сталі 45 після борування [3-5].

Поверхневий шар після борування і лазерної обробки після вимірювання мікротвердості показав значення в межах $H_d=15000-16000$, МПа. Лазерна обробка сприяла подрібленню зубчастої структури поверхні, що позитивно впливає на усунення негативного моменту тріщино утворення у надтвердих структурах борованого шару.

На рис. 2. наведена мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після борування і лазерної обробки. Поверхня сталі 45 визначається щільним шаром надтвердих утворень ($h=20 - 40$ мкм). Під цим шаром спостерігається скупчення ($h=40-120$ мкм боридів і окремих карбідів).

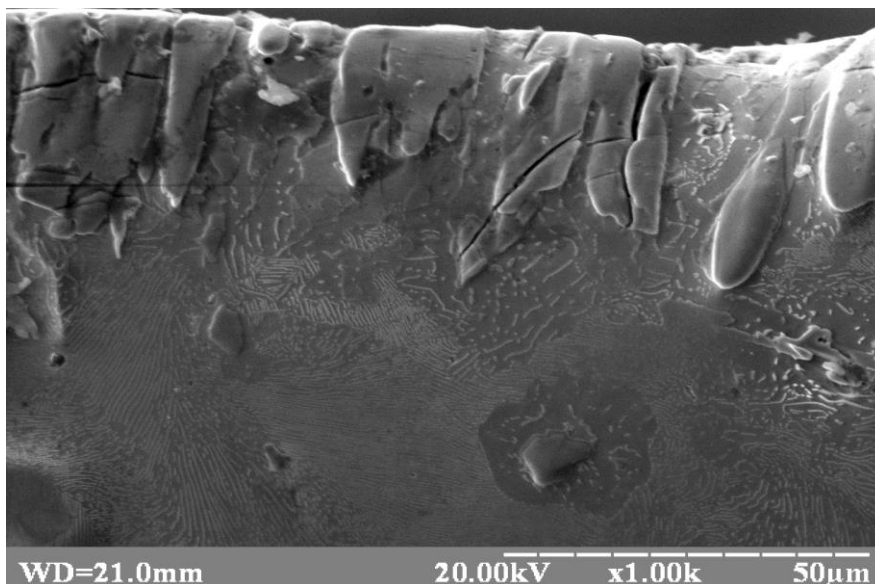


Рис.1. Мікроструктура поверхні деталі із сталі 45 після буровання

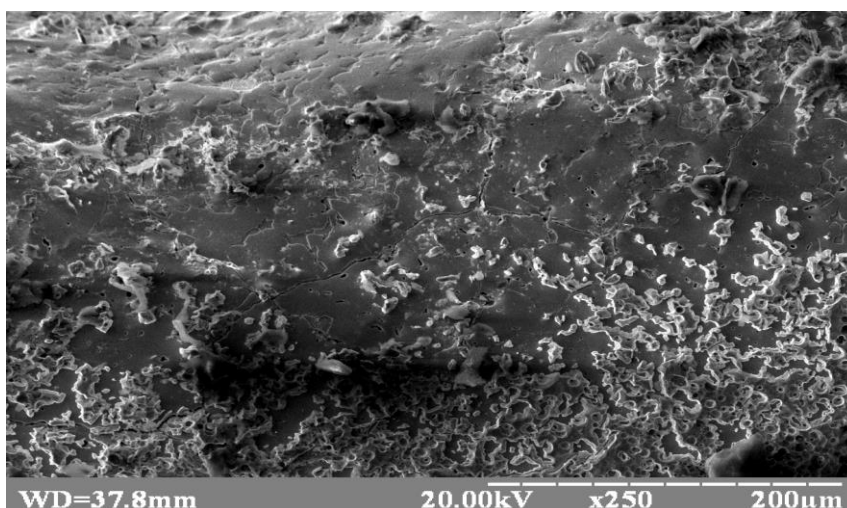


Рис. 2. Мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після буровання і лазерної

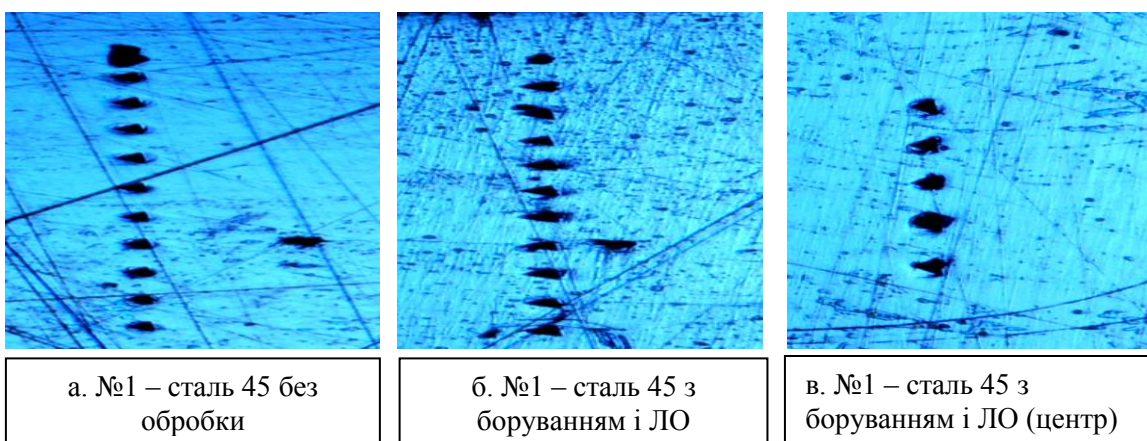


Рис. 3. Фотографії печатків з трасою сканування

Для дослідження були вибрані фрагменти матеріалів із сталі 45 без обробки, з обробкою шляхом буровання і ЛО (поверхневий шар і центр зразка). Уколи (10 точок проникнення індентору) дослідних зон проводили з кроком 50 мкм за допомогою приладу "Micron-gamma", що дозволило за вище наданою методикою визначити параметри мікротвердості, пружності, коефіцієнту пластичності відповідних локальних зон (рис. 3) [6-8].

На рис.4 наведені результати вимірювань (а. №1 – сталь 45 без обробки, б. №2 – сталь 45 з боруванням і ЛО (поверхня), в. №3 – сталь 45 з боруванням і ЛО (центр)) на приладі "Місрон-гамма".

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
а. №1 – сталь 45 без обробки															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1,mkm	hc,mkm	h2,mkm	H(Мартен)	Hн(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	К пласт	Напр. GF
1	49,2	5,0	0	1,990	1,662	1,185	5,480	5,071	7,273	116,2	35,29	11,56	0,672	0,771	1,342
2	49,5	5,0	0	2,082	1,824	1,502	5,150	4,657	6,067	135,5	37,96	9,73	0,744	0,832	1,232
3	49,4	5,0	0	2,038	1,809	1,516	5,631	4,852	6,157	153,7	38,92	8,66	0,778	0,855	1,284
4	49,4	5,0	0	2,236	2,012	1,595	4,415	4,029	4,976	141,2	40,31	8,50	0,789	0,863	1,066
5	49,3	5,0	0	2,050	1,820	1,562	5,517	4,788	6,075	151,8	38,84	7,97	0,795	0,854	1,267
6	49,1	5,0	0	2,085	1,893	1,624	5,360	4,612	5,591	174,8	39,67	7,55	0,810	0,882	1,220
7	48,9	5,0	0	2,090	1,879	0,000	5,221	4,568	5,651	159,0	38,96	7,91	0,797	0,868	1,209
8	49,2	5,0	0	2,035	1,837	1,444	5,526	4,843	5,943	174,2	38,07	7,29	0,809	0,872	1,281
9	50,0	5,0	0	2,128	1,948	1,702	5,043	4,509	5,376	184,6	39,68	7,22	0,818	0,887	1,193
10	49,3	5,0	0	2,166	1,977	1,290	4,820	4,290	5,150	170,2	40,00	7,03	0,824	0,884	1,135

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
б. №2 – сталь 45 з боруванням і ЛО (поверхня)															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1,mkm	hc,mkm	h2,mkm	H(Мартен)	Hн(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	К пласт	Напр.
1	50,0	5,0	0	2,407	2,200	1,942	3,965	3,523	4,218	141,5	45,17	9,07	0,799	0,885	0,932
2	50,0	5,0	0	2,584	2,410	2,182	3,547	3,057	3,513	154,3	49,98	8,03	0,839	0,913	0,809
3	50,0	5,0	0	2,379	2,183	1,942	4,242	3,605	4,284	150,2	46,68	8,37	0,821	0,895	0,954
4	50,0	5,0	0	2,691	2,525	2,347	3,083	2,819	3,201	154,0	49,07	7,11	0,855	0,916	0,746
5	50,0	5,0	0	2,668	2,491	2,279	3,390	2,867	3,288	146,2	52,62	7,42	0,859	0,916	0,758
6	50,0	5,0	0	2,702	2,531	2,338	3,172	2,796	3,186	149,1	51,11	7,23	0,858	0,916	0,740
7	50,0	5,0	0	2,430	2,249	1,996	4,131	3,457	4,033	159,0	48,40	7,54	0,844	0,907	0,915
8	50,0	5,0	0	2,656	2,492	2,287	3,375	2,894	3,287	158,0	51,64	7,15	0,861	0,921	0,766
9	50,0	5,0	0	2,523	2,348	2,153	3,694	3,205	3,701	156,6	48,49	7,52	0,845	0,910	0,848
10	50,0	5,0	0	2,600	2,434	2,194	3,665	3,019	3,446	159,3	52,62	7,07	0,866	0,921	0,799

Таблица расчетов															
P = 50,0 V = 5,00 T = 0 S = 0															
в. №3 – сталь 45 з боруванням і ЛО (центр)															
№	P, гр.	V, гр/с	T, с.	h1,mkm	hc,mkm	h2,mkm	H(Мартен)	Hн(Мейер)	H(Мейер)	E, ГПа	Аоб	Ауп	s (пласт)	К пласт	Напр. GF
1	48,9	5,0	0	2,208	2,012	0,476	4,862	4,095	4,929	160,3	42,75	7,74	0,819	0,888	1,084
2	50,0	5,0	0	2,378	2,190	1,927	4,081	3,610	4,254	157,1	44,82	7,91	0,824	0,896	0,955
3	50,0	5,0	0	2,349	2,172	1,961	4,144	3,700	4,328	167,7	43,86	7,64	0,826	0,899	0,979
4	50,0	5,0	0	2,759	2,594	2,377	2,989	2,681	3,032	150,9	51,29	6,57	0,872	0,920	0,709
5	50,0	5,0	0	2,531	2,362	2,196	3,683	3,186	3,659	161,3	48,78	6,77	0,861	0,913	0,843

Рис.4. Результати вимірювань на приладі "Місрон-гамма"

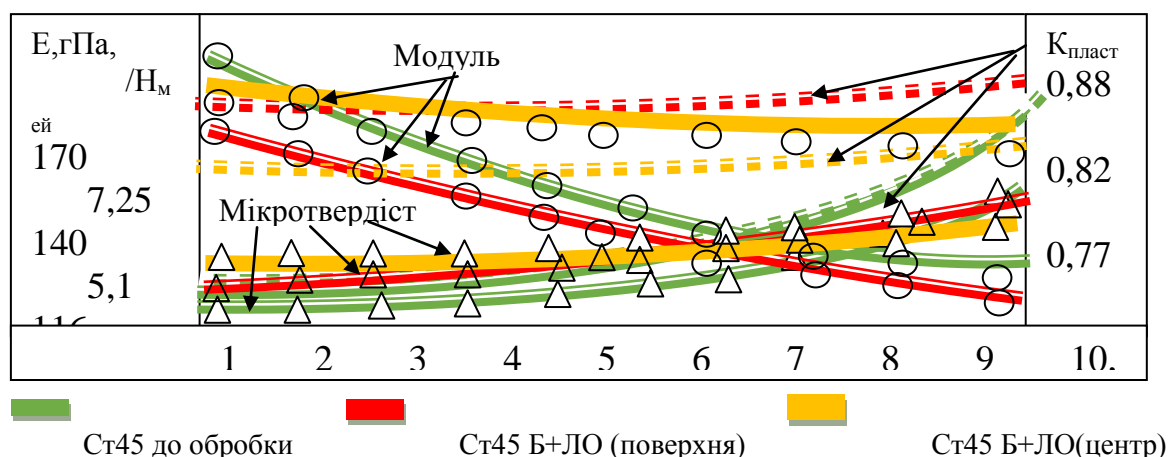


Рис.5. Графічні залежності вимірів мікротвердості, модуля пружності і коефіцієнта пластичності на різних ділянках дослідних сталей

При скануванні поверхні на сталі 45 без обробки модуль пружності коливається від 116 до 170 гПа, а при боруванні поверхні з наступною лазерною обробкою від 141 до 159 гПа, а в центрі 160-161 гПа. Розкид показників мікротвердості коливається від $H_{мей} = 5,15-7,23$ і для оброблених поверхней $H_{мей} = 3,4-4,6$. Коефіцієнт пластичності для необробленої поверхні

складає 0,7-0,8, для борованих поверхней з лазерною обробкою 0,8-0,9 [9-11].

Висновки. На підставі аналізу ряду застосованих існуючих технологічних способів зміцнення поверхневого шару і при суттєвому збільшенні мікротвердості поверхневих шарів виникає небезпечність внутрішнього руйнування матеріалу (при збільшенні межі витривалості і текучості, знижується пластичні показники і знижується опір крихкому руйнуванню). Детально досліджена структура борованого шару і фазовий склад на сталі 45 після дифузійного насичення бором і лазерної обробки. Умовно виділено наступні зони: - поверхневий шар повністю складається з боридів заліза Fe_2B і FeB ; - другий шар містить залишки боридів заліза Fe_2B і FeB , α - фазу і карбобориди $Fe_3(C, B)$ і $Fe_{23}(C, B)_6$; - третій шар містить залишки боридів заліза Fe_2B і FeB . Бор в цьому шарі міститься в карбоборидах; - четвертий шар зберігає вихідну ферітно-перлітну структуру сталі 45.

Список літератури

1. Суслов А.Г., Браун Э.Д., Виткевич Н.А. Качество деталей машин. Справочник. Т.1. М: Машиностроение, 1995. - 143с.
2. Франценюк И.В., Франценюк Л.И. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. -М.:ИКЦ «Академкнига», 2004. -136с.
3. Завьялов А.С., Теплухин Г.Н., Габеев К.В. Умови і механізм утворення безструктурного мартенситу (гарденита). Металознавство і термічна обробка металів.- №10.-1979.С.11-12.
4. Боровинская И.П. Образование тугоплавких соединений при горении гетерогенных, конденсированных систем. В кн.: Горение и взрыв. Матер. IV Всес. симпоз. по горению и взрыву. М.: Наука, 1977, с. 138- 148.
5. Иванов С.Г., Дон Яджи, Гурьев А.М. Микроструктура диффузионной зоны стали 3 после совместного диффузионного насыщения бором и хромом. //Ползуновский альманах №4.- 2016. -С. 5-7
6. Ігнатович С.Р., Закиев И.М. Универсальный микро нано - индентометр «Micron-Gamma». Заводская лаборатория. – 2011. – Т. 77, № 1. – С. 61-67.
7. ISO/FDIS 14577-1: 2002; Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method – Geneva: ISO Central Secretariat, 2002.
8. Чернета О.Г., Сухомлин В.І., Коробочка О.М. Дослідження мікроструктури зношених деталей автомобілів із сталі 45 при відновленні і багатократній термічній обробці. Перспективні технології та прилади. м. Луцьк червень 2017 р. –ЛНТУ, – Вип.10(1) – 2017. С.212-217.
9. Чернета О.Г., Волощук Р.Г., Коробочка О.М. Дослідження технологічних способів формування зносостійких покриттів на основі лазерної обробки. / / Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк листопад 2014 р. – Луцьк: ЛНТУ, – Вип.5(2) – 2014. С.176.
10. Чернета О.Г., Кубіч В.І., Коржавін Ю.А. Дослідження механічних характеристик деталей із сталі 45 методом інструментального ідентифікування. INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND EDUCATION. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, March 29-31, GREECE, Athens, 2020. –P.219-225.
11. Чернета О.Г., Кубіч В.І., Коржавін Ю.А. Дослідження фізико-механічних характеристик деталей із сталі 45 методами динамічного втиснення індентору , склерометрії і мікротрибології . MODERN SCIENCE: PROBLEM AND INNOVATIONS. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, April 5-7, SWEDEN, Stockholm, 2020. –P.290-296.

¹Cherneta O.G., ¹Sasov O.O., ¹Shmatko D.Z., ¹Averyanov V.S.

¹Dniprovsk State Technical University

SURFACE LAYER STEEL DETAILS 45 AFTER STRENGTHENING BY BORING AND LASER TREATMENT

The technologies of processing and strengthening of the surface layer of details from steel 45 are investigated in the work, which at the first stage provide restoration of surface geometry, drilling and laser processing of the drilled layer. The analysis of structure formation of layered zones depending on technological methods of processing is carried out, the technique of definition of parameters of microhardness, elasticity, coefficient of plasticity of the corresponding local zones by

© Чернета О.Г., к.т.н., доц., Сасов О.О., к.т.н., доц., Шматко Д.З., к.т.н., доц., Аверьянов В.С., к.т.н., доц.

means of the device "Micron-gamma" is developed. Researches of physical and mechanical properties of working layers and microhardness are carried out. According to the results of the research on the corresponding samples of parts made of steel 45, images of the microstructures of the working surfaces are obtained, tables and graphs of the distribution of the microhardness of the surface layer of the part are given. The presented results prove the expediency of using the developed technologies of restoration and strengthening of a wide range of steel parts 45 in mechanical engineering.

Key words: *wear resistance, restoration of details, technological methods of processing, metallographic researches, working surfaces, details, microstructure.*

¹Чернета О.Г., ¹Сасов О.О., ¹Шматко Д.З., ¹Аверьянов В.С.

¹Днепровский государственный технический университет

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ДЕТАЛИ ИЗ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ БОРИРОВАНИЕМ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

В работе исследованы технологии обработки и упрочнения поверхностного слоя деталей из стали 45, что на первом этапе предусматривает восстановление геометрии поверхности, борирования и лазерную обработку борированного слоя. Проведенный анализ структурообразования послойных зон в зависимости от технологических методов обработки, разработана методика определения параметров микротвердости, упругости, коэффициента пластичности соответствующих локальных зон с помощью прибора "Micron-gamma". Проведены исследования физико-механических свойств рабочих слоев и микротвердости. По результатам проведенных исследований на соответствующих образцах деталей из стали 45 получены изображения микроструктур рабочих поверхностей, приведены таблицы и графики распределения микротвердости поверхностного слоя детали. Представлены результаты доказывают о целесообразности использования разработанных технологий восстановления и укрепления широкого спектра деталей из стали 45 в машиностроении.

Ключевые слова: *износостойкость, восстановление деталей, технологические способы обработки, металлографические исследования, рабочие поверхности, детали, микроструктура.*

UDC 621.791.3

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-24

Chuiko M.M., Ph.D., Zavalskii V.I., master

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

THE CONTACT ANGLE CONTROL OF THE SOLDER FOR IMPROVING THE SOLDERING QUALITY

High quality of the soldering process can be achieved with the right choice of the necessary soldering materials. Since wetting determines the further nature of the connection between the solder and the main soldering material, the contact angle measurement is the basis for quality control of soldering materials, provided that the basic requirements of the technological process. The determination of the contact angle value is carried out by the indirect method of the sessile drop, by measuring the basic parameters of the drop using infrared transducer. A smaller value of the contact angle corresponds to a better interaction of materials, and hence a better electrical contact

Keywords: solder, wetting, contact angle, control, quality.

Introduction. At present, there are virtually no electrical devices or appliances that do not use the soldering process to connect certain parts, elements, or individual blocks. This connection type allows to fasten both small SMD parts and more massive output components.

Since in practice soldering is carried out using methods that speed up the soldering process (wave soldering, immersion, etc.), the installation quality of elements on the board strongly depends on the correct choice of necessary solders and fluxes to ensure good solder spreading on the conductors and reliable electrical contact between the elements and the board. Fluxes are used to remove oxides and contaminants from the metal surface, protect it from oxidation and better wet the solder. All this helps to increase the solder wetting properties and, as a consequence, improve the soldering quality.

Presentation of the main material. Solder - the metal or alloy, applied to connection of metal, ceramic and other details. The most important properties of solders are high adhesion and capillary properties and high fluidity. The service life of the soldered joint depends on the soldering technology correctness and the parameters of the environment in operation process.

In each case, the solder is selected depending on:

- properties of materials from which the combined parts are made;
- permissible melting point;
- sizes of details;
- requirements for the necessary quality of the joint (its mechanical strength, corrosion resistance, electrical conductivity, durability and total cost), the soldering method and soldering technological conditions.

Solders are divided into "Soft solders" and "Hard solders" [1].

The group of soft solders with a melting temperature range from 90 to 450 ° C is used for everyday use.

The most popular solders of this class are POS-60 (60/40, Tin / Lead, Sn / Pb), which melts at 188 ° C, and POS-63 (63/37, Sn / Pb), lead [3]. It is used mainly in electronics and electrical engineering. It has a low and clear melting point - 183 ° C. This solder is used for soldering electrical circuits. The addition of tin, which is a more expensive material than lead, improves the solder alloy wetting properties, and as the tin content increases, the tensile strength increases. It is used for chips, boards, units of high-frequency and measuring devices. It should be noted the electrical resistivity of lead solders is 8-9 times greater than that of copper.

It should also be added that Directive 2002/96 / EC of the European Parliament on waste electrical and electronic equipment (WEEE) entered into force on 27 January 2003. The modern electronics industry has faced the fact of organizing the collection and disposal of waste containing heavy metals and flame retardants. To successfully solve this problem, one of the necessary conditions is the transition to lead-free technology for the electronic equipment manufacture - technology using materials that do not contain lead.

Lead-free solders are solders that are designed to replace low-melting solders based on lead and may contain: tin, copper, silver, bismuth, indium, zinc, antimony and small amounts of other metals.

Lead-free solders are used to replace tin and lead solders ideally have the same properties as lead-tin solders. Most lead-free tin-based solders contain silver, copper and other additives. Elements doped in lead-free solders help to improve the properties of pure tin so that the solder based on them becomes more favorable for electrical products. For the electronics industry, the most acceptable solders for replacing traditional alloys Sn63P37 and Sn62P36Ag2 - Sn95, 5AgC, 8Cu0, suitable for soldering by melting (in a paste) and for wave soldering.

However, lead-free solders have a number of disadvantages:

- melting point is higher by 5-20 ° C;
- due to the first problem the cost increases. It becomes necessary to use more heat-resistant materials;
- usually have worse wettability. You need to use more chemically active fluxes, which carries additional risks.

If the temperature is higher than 450 ° C - the solders are called solid, and according to the melting point are divided into: medium melting (from 450 to 1100 ° C); high-melting (from 1100 to 1850 ° C) and refractory (over 1850 ° C) [2].

Copper-phosphorus and copper-zinc solders (PMC-36 and PMC-54) are widely used. They are well suited for fastening parts for which static loads are provided. Copper-phosphorus solders include alloys of copper, tin with phosphorus additives. This solders are used for soldering copper, copper alloys, silver, cast iron, hard alloys. Zinc-brazed solders are used for soldering steels and alloys that have increased melting points. These include bronze, brass and a number of other materials.

The soldering with these solders requires a high temperature and therefore mostly use the methods of electro-contact soldering, in which the connected parts are clamped between the carbon electrodes then a large current is passed through them. Gas welding machines, eddy current induction melting devices and, in some cases, blowtorches can also be used.

The wetting process is the first stage of physicochemical interaction of the solder with the base metal. The result of it is the establishment of interatomic bonds between them and the solder spreading on the metal surface with a finite contact angle (CA).

The spreading of solder can have several mechanisms: surface diffusion of solder atoms, evaporation followed by condensation of solder atoms or particles, the movement of relatively thick layers (phase spreading), dissolution, bulk diffusion [1,2]. The mechanisms and results of the interaction between the parent metal and the solder are determined by the electronic configurations of their atoms. In the wetting process the base metal and the solder spreading, the two free surfaces are replaced by one interfacial surface with a lower free energy of the system.

Therefore, to successfully perform the soldering process, solders must wet the base metal, spread over its surface and fill gaps (cracks). These processes may be accompanied by significant dissolution of the parent metal in the solder and mutual diffusion.

Moreover, the better the wetting of the base material, the stronger the connection, the better the electrical contact of the connecting parts and the better the quality of soldering as a whole, subject to the requirements of the technological process (temperature, soldering time, absence of surface contaminants and slags and other).

Therefore, it can be argued that the main determining parameter of elements quality connection by means of the soldering process is the high wettability of the elements by solder. The amount of wetting can be estimated by the value of the CA θ , which is determined quite experimentally. In this case, we propose to determine the solder CA of the base material according to the main parameters of the sessile drop (height and diameter) based on the formula [3,4]:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{h_d}{r_d}, \quad (1)$$

where h_d - drop height, mm;

r_d - radius of the contact line "solid - liquid", mm.

Expressing from this formula the CA θ , the calculation formula of this method will take the following form:

$$\theta = 2 \operatorname{arctg}\left(\frac{2h_d}{d_d}\right). \quad (2)$$

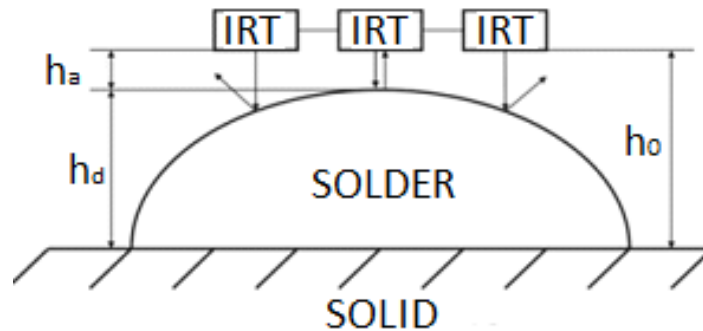
We suggest measuring the drop height with the help of infrared (IR) transducers, which will provide infrared wave radiation and registration of reflected waves from the solder surface. The height of the lying drop h_d is determined by the formula:

$$h_d = h_0 - h_a, \tag{3}$$

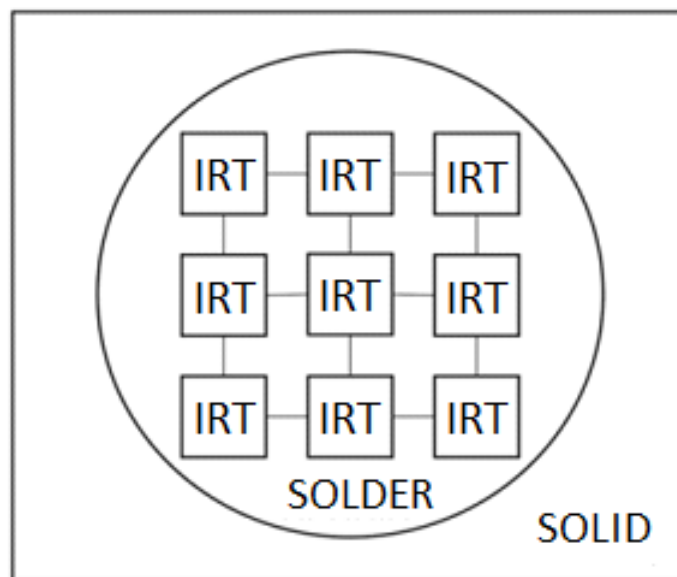
where h_0 – the fixed distance from the transducer to the base surface, mm;
 h_a – the distance from the transducer to the top of the solder drop surface, mm.

In the research process, the IR transducers are placed horizontally above the investigated surface of the solid body at a distance h_0 , it is in our case is 4 cm (Fig. 1 a).

Since the solder surface is curved, it is necessary to use not one transducer, but several, placed in the form of a matrix over the control object, to fix the reflected beam from this surface. In this case, we propose to use a matrix of IR transducers of size 3x3 (Fig. 1 b). This configuration allows you to determine the value of the maximum height of the drop, for which the time of "return" of the reflected beam is minimal. The calculation of the solder drop height is carried out on the basis of the matrix converter measured values, fixes the minimum distance to the solder surface.



a)



b)

Fig.1. Scheme of a matrix module for determining the solder drop height

The drop diameter is determined using a digital microscope company Shine Vision and reference scale.

To implement the proposed method of soldering materials quality control based on the determination of the contact angle, a device was developed.

The operation principle of the developed device on the basis of infrared transducers is based on a time interval measurement between the radiation moment of a probing IR monopulse (start-pulse) and the reception moment of the radiation reflected from object (stop-pulse). The radiation source in device is a pulsed IR transducer (usually semiconductor). The IR pulse is generated by IR transducer,

it is located on the matrix module. It is controlled by the control unit of the matrix module. The reflected radiation enters the IR transducer phototransistor and amplified by amplifier. Time interval meter, connected to the clock generator, turned on at the moment of the IR pulse emission by the matrix diode and turned off at the time of the reflected radiation reception by the receiving phototransistor, the signal of it is amplified and issuing a digital code. The synchronization and control unit interprets the code in the height of the solder drop, generates a signal on the indicator, and receives commands from the control unit. Heating of the control object, a sample of the base material with a certain dosed mass of solder controlled by the heater control unit. To ensure the operating temperature of the matrix module in the developed device provides a cooler. It is based on Peltier elements and is controlled by the cooler control unit. The heater and the cooler are fed from the power supply and the measuring circuit elements through a low-voltage voltage regulator

At a constant velocity of electromagnetic radiation spreading in the layer of medium (air), the distance to the object can be calculated using the following expression (taking into account the radiation travels twice the distance) [5]:

$$L = \frac{c\Delta t}{2n} \quad (4)$$

where c - speed of IR radiation in vacuum, m/s;

Δt - the time interval between the moments of sending and receiving radiation of the probing pulse, s;

n - refractive index of the propagation medium for the used wavelength of radiation (for air $n=1$).

At present, there is a huge variety of different factory infrared (IR) LEDs [6]. To determine the CA, it is necessary to ensure the minimum dimensions of the measuring unit to ensure the required measurement accuracy, due to the small size of the sample object control. Therefore, as a primary transducer, a selected reflective optical sensor with transistor output VCNT2020 is selected, allows to emit and receive IR oscillations of a certain length. The proposed transducer from Vishay Intertechnology in a minimalist SMD format [7], has a compact design 2.5x2x0.8 (mm), where the IR source and receiver are assembled in one housing. The working infrared wavelength is 940 nm. The receiver is made of an IR silicon phototransistor. In this sensor, the analog signal (photocurrent) is caused by the IR radiation reflected from the object.

The sensor is protected by an IR filter, it protects well from ambient light and thus increases the ratio of useful signal to noise.

The scheme of the matrix is collected on this transducers is given on (fig. 2)

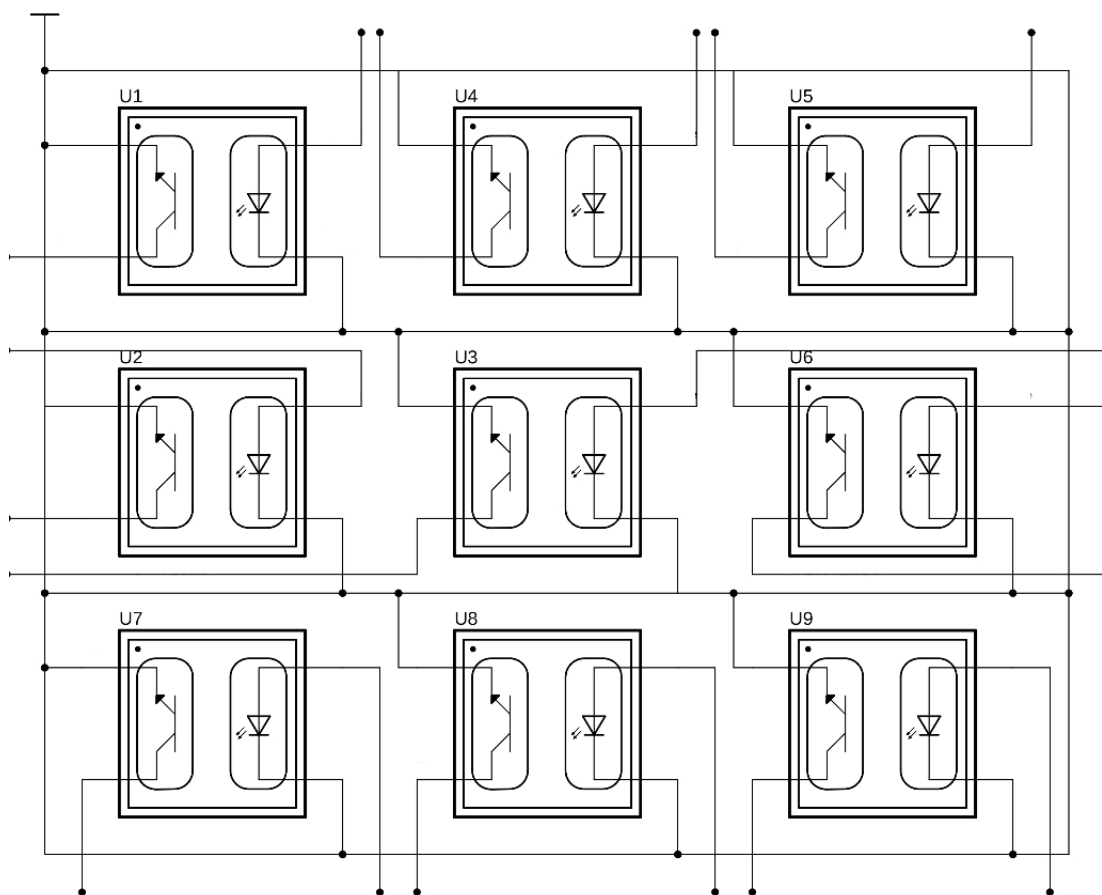


Fig. 2. Matrix module of IR transducers

For hardware and software implementation of measurement results calculations by matrix module is suggested to use open Arduino hardware. Using this platform makes it possible to increase efficiency of the developed device as many modules for signal processing and digitization are already available that will save developers a lot of time.

Direct digitization and signal processing will be performed by the ARDUINO UNO REV3 mock-up board [8]. It is a microcontroller board based on ATmega328P. It has 14 digital I / O pins (6 of which can be used as a PWM output), 6 analog inputs, a 16 MHz quartz crystal, a USB connection, a power connector, ICSP and a reset button. The board contains everything you need to support the microcontroller; just connect it to your computer with a USB cable or to an AC adapter or battery.

Conclusions. A wide range of soldering materials allows the selection of solder with optimal properties that provide high wettability and strength of the mechanical connection of parts. The use of an infrared transducer for the solder quality control allows to obtain a measuring signal in a digital code form. It is interpreted in the solder drop height, on the basis of which the solder CA is determined. A smaller value of the wetting angle corresponds to a better interaction of materials, and hence a better result of the soldering process.

Information sources

1. Паяння. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 7.05050403 «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» / Уклад.: В.В. Квасницький, Д.В. Степанов, І.Л. Левченко – К: 2015. – 57 с.
2. Паяння металів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів при паянні / В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, Б.В. Бугаєнко, Г.В. Єрмолаєв; під редакцією В.Ф. Квасницького. – Миколаїв: НУК, 2006. – 160 с.
3. Адамсон А. Физическая химия поверхностей: Пер. с. англ./Под ред. З. М. Зорина, В. М. Муллера. — М.: Мир., 1979. — 568с.
4. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. Москва : Химия, 1974. 416 с.

5. Лазерные приборы и методы измерения дальности : учеб. пособие / В.Б. Бокшанский, Д.А. Бондаренко, М.В. Вязовых, И.В. Животовский, А.А. Сахаров, В.П. Семенов ; под ред. В.Е. Карасика. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 92 с.
6. Світлодіоди: фізика, технологія, застосування: навч. Посібник / В. І. Карась, Л. А. Назаренко, І. В. Карась; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва – Х.: ХНАМГ, 2012, - 323 с.
7. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr14030.pdf>
8. http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf

Завальський В.І., маг., Чуйко М.М., к.т.н.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОНТРОЛЬ КРАЙОВОГО КУТА ЗМОЧУВАННЯ ПРИПОЇВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ПАЯННЯ

Стаття присвячена контролю якості паяльних матеріалів на основі визначення крайового кута змочування припоєм основного матеріалу паяння. Широкий вибір паяльних матеріалів дозволяє здійснювати підбір припою з оптимальними властивостями, що забезпечують високу змочуваність та міцність механічного з'єднання частин деталей. Висока якість процесу паяння може бути досягнута при правильному виборі необхідних паяльних матеріалів. Оскільки змочування визначає подальший характер зв'язку між припоєм та основним матеріалом паяння, тому вимірювання саме крайового кута змочування покладено в основу контролю якості паяльних матеріалів, за умови дотримання основних вимог технологічного процесу. Безпосереднє визначення значення крайового кута змочування здійснюється опосередкованим методом лежачої краплі, шляхом вимірювання основних параметрів краплі за допомогою інфрачервоних перетворювачів. Використання ІЧ випромінювача дозволяє отримувати вимірювальний сигнал у вигляді цифрового коду, який в свою чергу інтерпретується у висоту краплі припою, на основі якої і здійснюється визначення ККЗ припою. Менше значення крайового кута змочування відповідає кращій взаємодії матеріалів, а значить і більш якісному електричному контакту.

Ключові слова: припій, змочування, крайовий кут змочування, контроль, якість.

Завальський В.І., маг., Чуйко М.М., к.т.н.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КОНТРОЛЬ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАННЯ ПРИПОЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПАЙКИ

Статья посвящена контролю качества паяльных материалов на основе определения краевого угла смачивания припоем основного материала пайки. Широкий выбор паяльных материалов позволяет осуществлять подбор припоя с оптимальными свойствами, обеспечивающими высокую смачиваемость и прочность механического соединения частей деталей. Высокое качество процесса пайки может быть достигнута при правильном выборе необходимых паяльных материалов. Поскольку смачивания определяет дальнейший характер связи между припоем и основным материалом пайки, поэтому измерение именно краевого угла смачивания положен в основу контроля качества паяльных материалов, при условии соблюдения основных требований технологического процесса. Непосредственное определение значения краевого угла смачивания осуществляется косвенным методом лежащей капли, путем измерения основных параметров капли с помощью инфракрасных преобразователей. Использование ИК излучателя позволяет получать измерительный сигнал в виде цифрового кода, который в свою очередь интерпретируется в высоту капли припоя, на основе которой и осуществляется определение ККЗ припоя. Меньшее значение краевого угла смачивания соответствует лучшему взаимодействию материалов, а значит и более качественному электрическому контакту.

Ключевые слова: припой, смачивания, краевой угол смачивания, контроль, качество.

УДК 621.129.12

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-25

Шматко Д.З. к.т.н., доцент, **Авер'янов В.С.** к.т.н., доцент, **Сасов О.О.** к.т.н., доцент,
Чернета О.Г. к.т.н., доцент
Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Анотація. В даній роботі розглядається метод шумо-акустичного неруйнівного контролю при проведенні діагностування підшипників кочення маточин коліс автомобілів. Запропонований неруйнівний метод контролю надає можливість перевірити ефективність обраного мастила, тим самим підвищити ресурс і працездатність підшипників. Створена лабораторна установка для діагностування підшипників кочення, яка дозволяє отримати їх акустичні параметри в залежності від навантаження підшипникового вузла, часу напрацювання і застосування різних видів мастильних матеріалів у підшипниках. Розроблена авторами математична модель спрямована на визначення ступеню зношування підшипників кочення та дозволяє прогнозувати їх можливий ресурс роботи на підставі отриманих шумо-акустичних параметрів.

Ключові слова: підшипник, неруйнівний контроль, діагностика, акустичні параметри, мастильні матеріали, лабораторна установка.

Постановка проблеми. Ресурс автомобілів визначається, в основному, ресурсом підшипників кочення. Дефекти виготовлення і експлуатації підшипників по різному впливають на сигнал вібрації і мають різні діагностичні ознаки. Це дозволяє виявити дефекти на етапі їх виникнення та прогнозувати подальший розвиток. До дефектів виготовлення відносяться: відхилення форми при виготовленні тіл кочення, неврівноваженість кілець, ексцентриситет обойми, радіальні зазори; порушення шорсткості поверхні кочення. До дефектів монтажу відносяться: дефекти посадки підшипників у гнізда; сильне затягування; неправильне центрування. Основні причини виходу підшипника з ладу складають: порушення змащення (40%); порушення монтажу (30%); інші причини (20%); природні зношування (10%)[1]. Акустичний метод неруйнівного контролю заснований на використанні хвиль і пружних коливань. При акустичному контролі зазвичай використовують коливання з частотою 0,5...25 МГц (ультразвукові)[2]. Тому більшість акустичних методів є ультразвуковими, хоча відомі випадки використання і коливань звукової частоти. У даний час в практиці використовуються чотири методи ультразвукової оцінки технічного стану підшипників кочення: Пік-чинника, прямого спектру, спектрогінаючих і ударних імпульсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато науковців займаються процесами діагностування деталей та вузлів автомобілів за допомогою неруйнівних методів контролю. Велику увагу приділяють діагностуванню підшипників кочення.

Так у роботі [3] авторами запропонований метод діагностування підшипників передбачає використання вимірів деформації, які отримані за допомогою волоконно-оптичних датчиків, що дозволяє оцінювати uszkodження завдяки виміру розміру невеликих відколів в обоймах підшипників. Використовуючи даний метод не можливо визначити ступінь спрацювання підшипника, а тільки оцінити ступінь uszkodження його внутрішньої і зовнішньої обойми.

Робота[4] присвячена методу оцінювання якості мастильних матеріалів, а саме визначення забруднень в мастилі підшипників кочення з використанням сигналів акустичної емісії. Автори у статті доводять, що сигнатура забрудненого мастильного матеріалу значно сильніша, ніж вплив на звичайні індикатори стану, такі як RMS. Проте провести комплексне оцінювання застосування того чи іншого мастила в підшипнику кочення запропонований метод не передбачає.

Запропоновано у роботі[5] методологія для діагностування підшипників кочення використовує вейвлет-переутворення пакетів, відстеження порядку і підхід до моделювання ознак для генерації діагностичної метрики у вигляді міри розходження. До недоліків даного методу діагностування відноситься його велика складність (необхідно провести оцінювання розподілення вірогідності діагностичної метрики, яка статистично обумовлена у відповідних

умовах експлуатації), а також деяка неточність при оцінюванні спрацювання підшипників з застосуванням або без мастильних матеріалів.

Запропонований у праці [6] метод діагностування підшипників передбачає отримання параметрів за допомогою методу вібрації. Даний метод змінної структури був використаний для підвищення надійності оцінки несправностей при одночасному зменшенні невизначеностей у спостерігачеві лінеаризації зворотного зв'язку. Основним недоліком діагностування за допомогою метода лінеаризації є те, що еквівалентність початкової нелінійної системи і її лінійного наближення зберігається лише для певних процесів, а якщо система переходить з одного режиму роботи на інший, необхідно змінювати і її лінеаризовану модель, тобто це унеможливує врахування зміни навантажень на підшипниковий вузол.

Метод діагностування підшипників кочення у праці [7] передбачає визначення і усунення дефектів підшипників ще на стадії збиральних робіт їх у підшипникові вузли. Автори досліджують геометрію і сигнали вібрації, які генеруються діючими підшипниками. Запропонована методика не дає можливості оцінити ресурс підшипника після певного його періоду напрацювання, а також оцінити ефективність застосованого в ньому мастильного матеріалу.

Формування мети дослідження. Метою роботи являється розробка методики проведення досліджень працездатності підшипників кочення методом акустичного неруйнівного контролю та отримання залежностей акустичних показників роботи підшипників від їх напрацювання, а також застосування в них мастильних матеріалів. Розробка математичної моделі, яка передбачає оцінювання спрацювання підшипника кочення в залежності від його акустичних параметрів.

Результати роботи. Експериментальні дослідження проводилися на лабораторній установці (рис. 1) для діагностування підшипників кочення, за допомогою шумо-акустичного методу з використанням програмного забезпечення GoldWave та Spectrogram. Для дослідження вибрано підшипник маточини переднього колеса автомобіля Mercedes Vito.

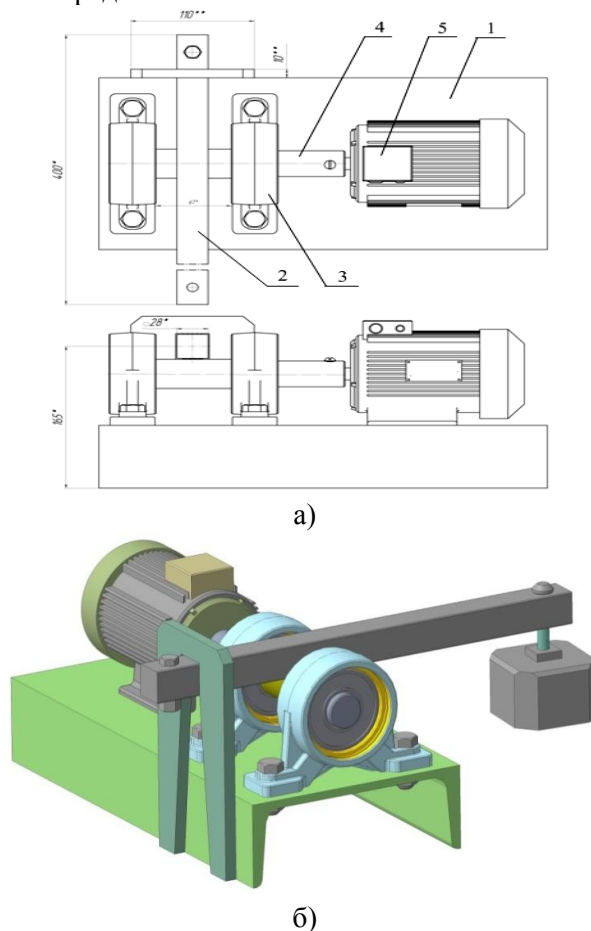


Рис. 1. Установка для діагностування підшипників кочення: а) схема установки; б) тривимірний модель установки; 1 – рама; 2 – навантажувальний механізм; 3 – опора підшипника; 4 – проміжний вал; 5 – електродвигун

Експеримент по дослідженню шумо-акустичних показників підшипника кочення проводився у декілька етапів.

Перший етап проводився наступним чином: підшипник маточини колеса змащували мастилом №158, та встановлювали на лабораторну установку (рис.1), тобто корпус з підшипником встановлювали з натягом на вал та приєднували до електродвигуна; через систему важелів змінювали навантаження на валу, на якому посаджено підшипник кочення, тим самим змінюючи навантаження на сам підшипник.

За допомогою акустичних датчиків та комп'ютерної техніки з відповідним програмним забезпеченням записували аудіо-файли; після вимикання установки, проводилось її часткове розбирання з метою заміни підшипників з іншим мастилом. Далі проводився наступний запуск установки з підшипниками у яких застосовувалось мастило ЛІТОЛ-24 та ЦІАТИМ-201 і проводився запис аудіо-файлів. Змінювання навантаження на підшипник також відбувалось з застосування контрвантажів.

Було проведено декілька циклів запису файлів напрацювання підшипників з різними мастилами і різними навантаженнями на підшипниковий вузол, після чого за допомогою програм GoldWave та Spectrogram було проведено аналіз цих файлів.

Отримані данні (спектрограми, діаграми та показники шуму) дають змогу наглядно побачити та проаналізувати стан зносу підшипника та розвиток дефекту в ньому, а також вплив змащувального матеріалу на поведінку шумо-акустичних показників.

Аналіз аудіо файлів (рис. 2) дав змогу побачити, як зміниться поведінка вібро-акустичних показників підшипника при використанні різних мастильних матеріалів.

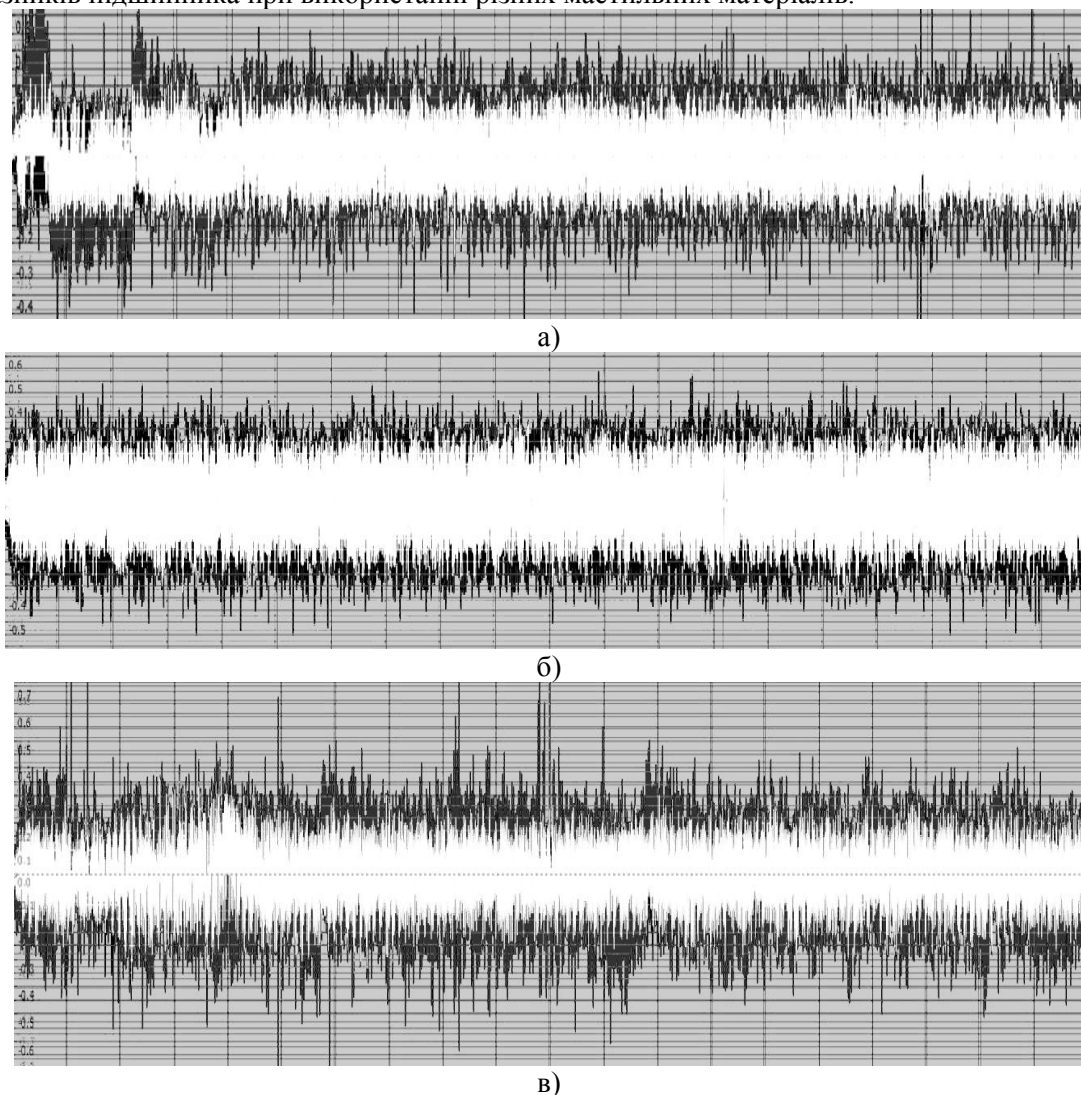


Рис. 2. Діаграми шумо-акустичних показників підшипників з застосуванням різних мастильних матеріалів: а) мастило №158; б) мастило ЛІТОЛ-24; в) мастило ЦІАТИМ-201.

Діаграми дають змогу наглядно побачити розвиток дефекту та загальну картину стану дослідного підшипника та залежність стану від змащувального матеріалу.

Білим кольором на діаграмі показаний початковий стан дослідного підшипника, а чорним – граничний стан.

Для експерименту використовувався електретний мікрофон з принципом дії подібним з мікрофонами конденсаторного типу, що використовує в якості нерухомої обкладки конденсатора і джерела постійної напруги пластину з електрету.

У таблиці 1 наведено данні по величині шумового діапазону, який фіксувався на протязі кожного циклу експерименту при різних мастильних матеріалах.

Таблиця 1

Результати заміру рівня шуму

Час роботи, год.		100	200	300	400	500	600	800	1000
Кількість обертів підшипника, млн. об.		6	12	18	24	30	36	48	60
Величина звукових коливань, дБ	№158	47,2	47,2	48,1	50,5	56,4	61,3	70,4	75,1
		47,5	47,3	48,3	50,4	56,6	61,7	70,5	75,2
		47,3	47,5	48,6	50,9	56,4	61,2	70,3	75,5
	ЛИТОЛ-24	45,3	46,4	49,4	55,3	61,1	69,6	77,7	78,3
		45,5	46,1	49,7	55,7	61,2	69,2	77,4	78,6
		45,4	46,3	49,5	55,8	61,5	69,4	77,9	78,4
	ЦИАТИМ-201	42,3	50,4	56,2	64,6	68,3	74,3	78,4	80,3
		42,5	49,5	56,7	64,5	68,6	74,4	78,8	80,4
		42,6	49,8	56,3	64,2	68,4	74,5	78,4	80,5

На рисунку 3 приведена залежність величини звукових коливань від напрацювання підшипників та мастильних матеріалів

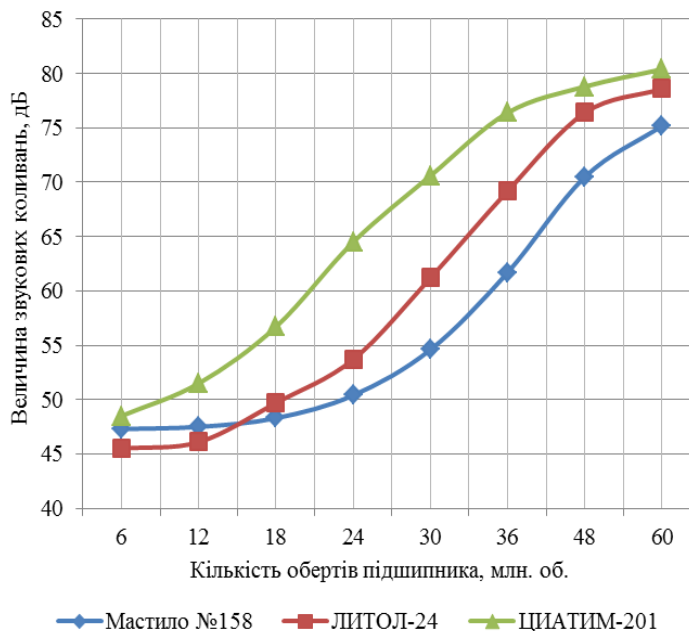


Рис.3. Залежність величини звукових коливань від напрацювання підшипників та мастильних матеріалів

На другому етапі проводились дослідження залежності радіального биття підшипників маточини колеса від їх загального напрацювання та вимірювали відповідну величину звукових коливань. Для визначення показників радіального биття підшипників кочення використовували індикатор годинникового типу, що встановлювався на магнітній стійці. Значення радіального биття підшипників від їх загального напрацювання приведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Радіальне биття підшипників від їх загального напрацювання									
Кількість обертів підшипника, млн. об.	6	12	18	24	30	36	48	60	
Радіальне биття підшипників, мкм	9,5	11,2	12,1	15,4	18,2	25,4	32,6	41,3	
Величина звукових коливань, дБ	42,3	49,4	56,2	64,6	68,3	74,3	78,4	85,3	

На рисунку 4 наведено залежність радіального биття підшипників від величини звукових коливань. Для підшипника маточини колеса, який досліджувався були встановлені допустимі значення радіального биття, які складають для нижньої межі 10 мкм, а для верхньої – 35 мкм. В залежності від величини звукових коливань встановлюємо ступінь спрацювання підшипника та його ресурс можливої роботи.

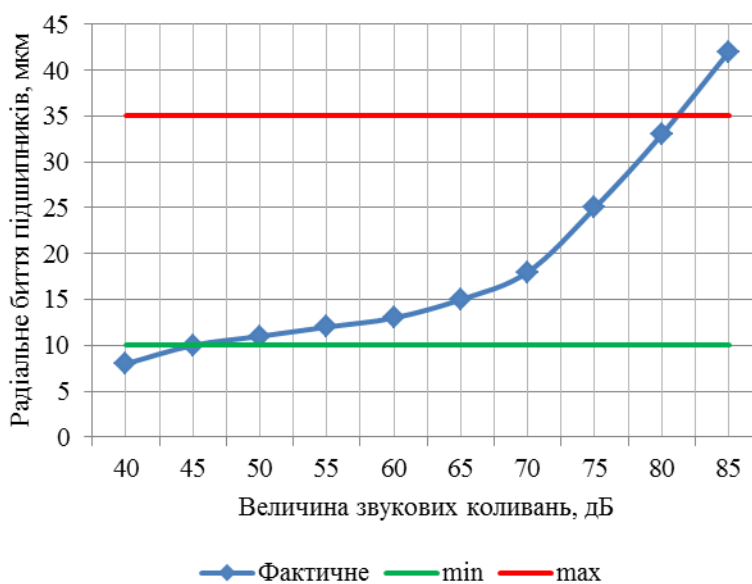


Рис. 4. Залежність радіального биття підшипників від величини звукових коливань

На третьому етапі було отримано математичну модель для визначення залежності акустичних параметрів підшипників від їх зношування. Дана модель враховує наступні параметри: кількість обертів підшипника; навантаження, що сприймає підшипник; тип мастила (число пенітрації). Рівні варіювання вище наведених параметрів представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Рівні варіювання факторів

Фактори	Позначення факторів	$x_i^* = -1,68$	$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = 1$	$x_i^* = 1,68$
Кількість обертів підшипника N, млн. об.	x_1	5	15	30	45	55
Навантаження, що сприймає підшипник G, кН	x_2	4,5	5,5	7	8,5	9,5
Число пенітрації мастила ρ , мм-1	x_3	235	250	270	290	305

Кодування факторів здійснюємо за допомогою перетворення:

$$x_j = \frac{\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}}{I_j}, \tag{1}$$

де x_j – кодоване значення фактора; \tilde{x}_j – натуральне значення фактора; \tilde{x}_{j0} – натуральне значення основного рівня; I_j – інтервал варіювання; j – номер фактора.

Відобразимо обраховані за формулою перетворення матрицю плану та відповідні отримані результати експерименту (табл. 4).

Таблиця 4

Матриця планування і результати дослідження

№ досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y	y_p	Похибка, %
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	78,2	77,3	1,15
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	76,6	75,3	1,7
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	65,8	66,5	-1,1
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	67,3	66,5	1,19
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	52,4	53,3	-1,7
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	53,8	53,3	0,93
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	45,1	45,5	-0,9
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	46,4	45,5	1,94
9	1	1,68	0	0	0	0	0	2,83	0	0	80	81,1	-1,4
10	1	-1,68	0	0	0	0	0	2,83	0	0	45,2	44,5	1,55
11	1	0	1,68	0	0	0	0	0	2,83	0	64,6	65,6	-1,5
12	1	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,83	0	52,7	51,6	2,09
13	1	0	0	1,68	0	0	0	0	0	2,83	57,2	58,4	-2,1
14	1	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,83	58,8	58,4	0,68
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57,6	58,4	-1,4
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57,1	58,4	-2,3
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58,8	58,4	0,68
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59,3	58,4	1,52
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59,1	58,4	1,18
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59,6	58,4	2,01

В даному випадку математична модель для повного чотирьох факторного експерименту з ефектом взаємодії має вигляд:

$$y_p = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (2)$$

Коефіцієнти моделі обчислюємо за формулою:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i}{N}, \quad (3)$$

де $j = 0, 1, 2, \dots, k$; N – кількість виконаних дослідів ($N = 20$).

Коефіцієнти моделі (2), які розраховано за формулою (3), становлять:

$$b_0 = 58,5; b_1 = 10,9; b_2 = 4,1; b_3 = -0,83; b_{12} = 1,5; b_{13} = 0,25; b_{23} = 0,75;$$

$$b_{11} = 1,55; b_{22} = 0,14; b_{33} = -0,4.$$

Дисперсію S_y^2 відтворюваності визначаємо по результатам досліджень в центрі плану. Дисперсії, що характеризують помилки в визначенні коефіцієнтів рівняння регресії, згідно [8] при $k = 4$ становлять:

$$S^2\{b_0\} = 0,5833; S^2\{b_i\} = 0,2563; S^2\{b_{ij}\} = 0,1375; S^2\{b_{ii}\} = 0,0433.$$

При перевірці коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента (при 5 %-му рівні значимості та числі ступеню свободи $f = 5$) встановлено, що всі коефіцієнти значимі і виключено до моделі (2).

Підставивши знайдені коефіцієнти в рівняння (2), отримаємо наступне співвідношення:

$$y = 58,5 + 10,9 \cdot \tilde{x}_1 + 4,1 \cdot \tilde{x}_2 - 0,83 \cdot \tilde{x}_3 + 1,5 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 + 0,25 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 + 0,75 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 +$$

$$+ 1,55 \cdot \tilde{x}_1^2 + 0,14 \cdot \tilde{x}_2^2 - 0,4 \cdot \tilde{x}_3^2. \quad (4)$$

Перевірка гіпотези адекватності моделі (4) за критерієм Фішера при 5 %-му рівні значущості і числах ступенів свободи дисперсії адекватності

$f_{ad} = N - k - (n_0 - 1) = 20 - 4 - (6 - 1) = 11$ і дисперсії відтворюваності
 $f_y = n_0 - 1 = 6 - 1 = 5$ показала, що отримані моделі адекватні, оскільки розрахункове значення
 критерію менше табличного $F_{cal} = 1,54 < F_T(0,05; 11; 5) = 3,2$.

У рівнянні (4) змінні значення $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3$ є кодовані величини:

$$\begin{aligned}\tilde{x}_1 &= \frac{N-30}{15} = 0,067 \cdot N - 2; \\ \tilde{x}_2 &= \frac{G-7}{1,5} = 0,67 \cdot G - 4,67; \\ \tilde{x}_3 &= \frac{\rho-270}{20} = 0,05 \cdot \rho - 13,5.\end{aligned}\quad (5)$$

де N – кількість обертів підшипника, млн. об; G – навантаження, що сприймає підшипник, кН; ρ – число пенітрації мастила, мм-1.

Для зручності обчислень математичну модель (4) переведемо в натуральну величину:

$$\begin{aligned}\partial B &= 33,15 - 0,381 \cdot N - 6,92 \cdot G + 0,3 \cdot \rho + 0,067 \cdot N \cdot G + 0,00084 \cdot N \cdot \rho + 0,025 \cdot G \cdot \rho + \\ &+ 0,007 \cdot N^2 + 0,063 \cdot G^2 - 0,001 \cdot \rho^2.\end{aligned}\quad (6)$$

Висновки:

На основі проведеного експерименту та аналізу отриманих даних, можна зробити висновок, що застосований метод неруйнівного шумо-акустичного контролю підшипників кочення з застосуванням різних мастильних матеріалів, дозволяє отримати найбільш достовірні данні про ступінь зношення підшипників кочення, їх спрацювання та попередити руйнування всього вузла в цілому.

Розглянутий шумо-акустичний метод дозволяє розробити рекомендації по застосуванню тих чи інших видів мастильних матеріалів у підшипниках кочення.

Розроблена математична модель дозволяє на підставі акустичних параметрів підшипників, які були отримані при проведенні експериментальних досліджень, визначити ступінь зношування та прогнозувати можливий ресурс роботи підшипника кочення.

References

1. Korobochka O., Skornyakov E., Sasov O. (2007) Fundamentals of calculation, design and operation of technical equipment for motor transport. Dneprodzerzhinsk: DSTU, 226 p.
2. Kanevsky I., Sampikova I. (2007) Non destructive methods of control. Vladivostok: DVSTU, 243 p.
3. Alian H., Konforty S., Ben-Simon U., Klein R., Tur M., Bortman J. (2019) Bearing fault detection and fault sizes estimation using fiber-optic sensors. Mechanical Systems and Signal Processing, 120(1), 392–407.
4. Martin-del-Campo S., Schnabel S., Sandin F., Marklund P. (2019) Detection of particle contaminant in rolling element bearings with an supervised acoustic emission feature learning. Tribology International, 63(1), 30–38.
5. Schmidt S., Heyns, P., Gryllias K. (2019) A discrepancy analysis methodology for rolling element bearing diagnostics under variable speed conditions. Mechanical Systems and Signal Processing, 116, 40–61.
6. Piltan F., Kim, J. (2018) Bearing fault diagnosis using an extended variable structure feedback linearization observer. Sensors (Switzerland), 18(12), 43–59.
7. Jakubek, B., Jakubowicz, M., Smulek, W. (2018) Comparison of rolling bearings diagnosing methods – Procedures of damage introduction. Vibrations in Physical Systems, 29, 11–19.
8. Shklyar V. N. (2010). Planirovanie eksperimenta i obrabotka rezultatov. Tomsk: TPU, 90 p.

UDK 621.129.12

Shmatko D., Averyanov V., Sasov A., Cherneta O.

Dniprovskiy State Technical University, Kamianske, Ukraine,

MATHEMATICAL MODELING OF WEAR ASSESSMENT ROLLING BEARINGS

In the given work the method of noise-acoustic non-destructive control during carrying out of diagnostics of bearings of rolling of mats of wheels of cars is considered. The proposed non-destructive method of control provides an opportunity to check the efficiency of the selected lubricant, thereby increasing the life and performance of the bearings. A laboratory installation for the diagnosis of roller bearings has been created, which allows to obtain their acoustic parameters depending on the load of the bearing unit, the time of application and application of different types of lubricants in bearings. The mathematical model developed by the authors is aimed at determining the degree of wear of bearing shafts and allows them to predict their possible work life based on the received noise-acoustic parameters.

Key words: bearing, non-destructive control, diagnostics, acoustic parameters, lubricants, laboratory setting.

УДК 621.129.12

Шматко Д.З., Аверьянов В.С., Сасов А.А., Чернета О.Г.

Днепропетровский государственный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ИЗНАШИВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

В данной работе рассматривается метод шумо-акустического неразрушающего контроля при проведении диагностирования подшипников качения ступиц колес автомобилей. Предложенный неразрушающий метод контроля позволяет проверить эффективность выбранного масла, тем самым повысить ресурс и работоспособность подшипников. Создана лабораторная установка для диагностики подшипников качения, которая позволяет получить их акустические параметры в зависимости от нагрузки подшипникового узла, времени наработки и применения различных видов смазочных материалов в подшипниках. Разработанная авторами математическая модель направлена на определение степени износа подшипников качения позволяет прогнозировать их возможный ресурс работы на основании полученных шумо-акустических параметров.

Ключевые слова: подшипник, неразрушающий контроль, диагностика, акустические параметры, смазочные материалы, лабораторная установка.

УДК 620.9+621.315.592

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-26

Никируй Л.І.¹, канд. фіз.-мат. наук, Замуруєва О.В.², канд. фіз.-мат. наук, Новосад О.В.², канд. фіз.-мат. наук, Федосов С.А.², д-р фіз.-мат. наук¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника²Волинський національний університет імені Лесі Українки

ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У роботі проаналізовано публікації авторитетних світових науковців і з двох країн – України та Польщі у галузі «Фотоелектрика / Фотовольтаїка», щоб знайти закономірності як розвитку цього напрямку у кожній державі, так і визначити перспективи для спільних досліджень. Аналіз ґрунтується на результатах даних, опублікованих у міжнародних наукових базах даних Web of Science та Scopus. Виявлено найсучасніші галузі досліджень у кожній країні, проаналізовано як теоретичні, так і прикладні дослідження, спрямовані на практичне застосування.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, фотоелектрика, фотовольтаїка, сонячні елементи, *h*-індекс.

Вступ. Відсутність належної енергетичної політики серед держав, зокрема тих, економіка яких базується на викопних паливах, часто згубно впливає на навколишнє середовище [1]. Зменшення залежності від викопного палива є важливим кроком у трансформації стійкої енергетичної системи. З цієї причини більшість держав розпочали підтримувати розвиток відновлювальних джерел енергії на законодавчому рівні та заохочувати перехід до їх широкого використання. Однак виклик такій політиці ЄС можливий через недотримання цих ініціатив державами, що межують з ЄС. Тому доцільним є аналіз розвитку відновлювальної енергетики у двох сусідніх країнах – Польщі та Україні. Одним із перспективних напрямків відновлювальної енергетики є Сонячна енергетика / Фотоелектрика / Фотовольтаїка (Solar Energy / Photoelectric / Photovoltaics). Цей напрямок для порівняння між Україною та Польщею вибраний з наступних причин. Обидві країни знаходяться в схожих широтах і мають майже однакову кількість сонячних днів та схожу інфраструктуру, включаючи наукову. Сонячна енергетика, зокрема фотовольтаїка, – одна з областей, де можна швидко перевірити властивості нових матеріалів та впровадити їх у виробництво. І, враховуючи потужний глобальний розвиток у цьому напрямку, дуже легко порівняти отримані результати та гнучко вибирати нові об'єкти для дослідження.

Методологія досліджень. Наукові результати можна проаналізувати, якщо вони є у формі публікації. Наукову літературу шукали в академічних бібліотеках, Web of Science, Scopus, рецензували англійською мовою та видавали книги, що стосуються тематики.

Таким чином, пошук проводився з 1991 року (Україна стала незалежною державою). Завдяки вдосконаленим інструментам наукометричних систем були відібрані наукові праці, що свідчать про приналежність Польщі чи України. Процедура детально описана в роботі [2]. Зокрема, огляд джерел проводився на основі аналізу як найбільш важливих чи найбільш цитованих (сортування за кількістю цитат), так і останніх (сортування за датою).

На другому етапі зроблено аналіз типу публікацій, їх фінансового забезпечення, а також специфічних для напрямку сонячна енергетика галузей, таких як «Матеріалознавство», «Фізика», «Технології» тощо.

На останньому етапі було проведено аналіз найвизначніших публікацій та закономірностей для прогнозування варіантів розвитку даного напрямку та узагальнення ключових результатів в рамках напрямку для підтримки теоретичного розвитку чи певних практичних технологій.

Аналіз результатів. Фотоелектрика (фотовольтаїка) – один із найпопулярніших видів відновлювальної енергії сьогодні. Причиною цього є вільне джерело – сонячне випромінювання, яке, потрапляючи на правильно підготовлені напівпровідникові матеріали, перетворюється на електричний струм завдяки відомому явищу – фотоефекту. Дослідження та аналіз публікацій сонячної енергетики (тег «Solar Energy») поєднано в єдиний тег «Solar Photoelectric / Solar Photovoltaic» (Сонячна фотоелектрика / Сонячна фотовольтаїка) та «Solar Heat Energy» (Сонячна теплова енергія). Фізика цих процесів принципово різна, однак, для них існує спільне джерело безкоштовної енергії – Сонце. Перетворення сонячної енергії в електричну чи теплову значно раніше почали цікавити дослідників і тепер вони стабілізувалися

на певних пропорційних до кількості публікацій значеннях щодо інших публікацій за цими тегами [2]. До інших областей досліджень тут однозначно відносять астрофізичні (процеси на Сонці), аерокосмічні та «чисті» географічно-екологічні дослідження. Хоча результати свідчать про високий імпакт досліджень щодо сонячної енергетики, який підтримується як державними механізмами у різних країнах, так і бізнесом, для яких впровадження інновацій є одночасно і комерційним і суспільним успіхом.

Сонячна енергетика на сьогодні у світі з усіх напрямків відновлювальної енергетики як за цитуванням, так і за кількістю публікацій має найвищі значення. Так за тегом «Solar Energy» h-індекс публікацій дорівнює 508 і 38 % загальної кількості публікацій за тематикою відновлювальної енергетики [2, 3]. Такі значення за цим тегом зрозумілі та передбачувані. Адже саме сонячна енергетика, також як і вітрова, сьогодні є вирішальними з економічної точки зору і першими почали масово впроваджуватися [4]. Основні публікації стосуються високотехнологічної сфери щодо принципово нових ідей, які стимулюють новий етап розвитку галузі. Так, у [5] обґрунтовано можливість розробки дешевих та комерційно вигідних фотоелементів товщиною 10 мкм на основі оптично прозорих плівок із наночастинок діоксиду титану. Ці наночастинок збирають достатньо високий відсоток потоку сонячного випромінювання (46 %) і демонструють виняткові показники перетворення енергії фотона в електричну енергію із загальною ефективністю (7,1-7,9) %. Схожим матеріалам присвячені й інші роботи, де пропонується певна хімічна модифікація цих фотоелементів на основі TiO₂ внаслідок легування елементами нітрогену, розробка поверхнево активного наноструктурного діоксиду титану, тощо. Тобто, чітко видно, що найбільш цитованими є наукові дослідження у сфері фотоелектричного матеріалознавства. Відсотковий вміст внеску саме статей із галузі матеріалознавства у сонячну енергетику, як розділу, який для цього напрямку найбільше відповідає фундаментальній природничій науці, становить (включаючи Chemical Engineering (хімічну інженерію)) 40,4 % [2]. Тобто, сонячна енергетика відноситься до технологічних сфер, яка має вагому наукову складову.

Певну статистику щодо публікацій світової наукової спільноти за тегом «Solar Energy» наведено у таблиці 1. Однозначними країнами лідерами щодо публікацій у сфері сонячної енергетики є США та Китай. Є країни, які мають національні пріоритети у сфері відновлювальної енергетики. Це часто пов'язано із географічним розташуванням країни, або із власною державною політикою. Як США, так і Китай географічно розташовані у різних географічних поясах, а також кожна із цих держав має потужні дослідницькі центри. Тому їх 1-а і 2-а позиції є очевидними. Індія, Німеччина, Японія, Великобританія, Італія, Франція – це країни, які обрали енергетичну безпеку у якості свого національного інтересу.

Таблиця 1

Статистика кількості публікацій по країнах та провідних науково-дослідних центрах відповідно до тегу «Solar Energy»

Країни-лідери	Провідні науково-дослідні центри				
	за кількістю публікацій		за кількістю цитувань		
1. USA	США	1. NASA	Центр космічних польотів імені Годдарда	1. Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart, Germany	Інститут досліджень твердого тіла імені Макса Планка, Штутгарт, Німеччина
2. China	Китай	2. Nat. Renewable Energy Lab.	Національна лабораторія по вивченню відновлювальної енергії	2. ETH Zurich, Switzerland	Швейцарська вища технічна школа Цюріха, Цюріх, Швейцарія
3. India	Індія	3. CNRS	Національний центр наукових досліджень	3. University of Ontario, Oshawa, Canada	Технологічний інститут університету Онтаріо, Ошава, Канада
4. Germany	Німеччина	4. UC Berkeley	Каліфорнійський університет в Берклі		
5. Japan	Японія	5. Cal. Tech.	Каліфорнійський технологічний інститут		
6. UK	Великобританія				
7. Italy	Італія				
8. France	Франція				

Наприклад, Індія задекларувала перехід на 100 % відновлювальну енергетику до 2022 року. Основою відновлювальної енергетики в Індії буде сонячна енергетика. Тому саме у сонячній енергетиці Індія займає 3 місце у світі за кількістю публікацій. Ця сама тенденція є і у виробництві сонячної електроенергії. Лідруючі позиції в розвитку сонячної енергетики займають Китай (52 ГВт), США (12,5 ГВт) та Індія (9 ГВт) [4].

Ситуація щодо науково-дослідних центрів, які займають провідні позиції за кількістю публікацій, дещо відмінна від рейтингу за державою. Існують центри, які, як виявилось, є однозначними лідерами в енергетичних дослідженнях. Причому, це одночасно може бути і розробка політики щодо екологічних норм джерел енергії, і розробка принципово нових матеріалів та пристроїв. Тобто, існують організації, які здобули незаперечну позитивну репутацію (табл. 1, стовпчик 2): NASA Goddard Space Flight Center, National Renewable Energy Laboratory, CNRS, UC Berkeley, California Institute of Technology, University of Tokyo, MIT, Tsinghua University, Technical University of Denmark та ін.

Але ще цікавішим є третій стовпчик табл. 1, у якому наведено центри, які є найбільш цитованими у своїй галузі. Відбір проводився за найцитованішими дослідниками із цих центрів (наведено афіліацію найбільш визнаних вчених). У сонячній енергетиці перші три позиції займають заклади, що не входять у перелік організацій із стовпця 2. Тобто, загальна кількість публікацій авторів із закладів, що вказані у стовпці 3 є меншою, але саме вони є флагманами, тобто тими, хто є «засновником тенденцій». І виявляється, що ці «засновники тенденцій» представляють організації не лише із США, Канади, Японії, Німеччини, Індії, але й із Швейцарії, Норвегії, Данії, Нідерландів, які не входять у перелік держав, наведених у стовпці 1 табл. 1. Тобто, якщо певна держава не входить до переліку тих країн, які видають найбільшу кількість публікацій, тим не менш, дослідники з них можуть претендувати на найвищі позиції у рангу світових вчених. І друге, дуже цікавим виявилось певне «зміщення» у тих організаціях, де працюють найбільш цитовані дослідники у скандинавських держав. А з іншої сторони, саме держави, наведені у стовпці 3 табл. 1, мають найбільшу кількість нобелівських лауреатів. Це підтверджує, що статистика відкритих даних міжнародних науко-метричних баз дає вірогідний результат і сприяє наданню достовірних висновків.

Щодо українських та польських видань, то кількість робіт набагато менша ніж кількість публікацій світового наукового співтовариства. Економічна ситуація в країнах суттєво впливає на кількість публікацій. Нижче наведено короткий опис інформації, наявної в міжнародних наукових базах даних про стан досліджень у напрямку фотоелектрики проведений у двох прикордонних країнах. Ці дві країни зараз реалізують бажання розвиватися разом і є прикладом того, як можна створити конкурентне наукове середовище на кордоні ЄС. Для зручності проведення аналізу впливу наукових досліджень, проведеного вченими з Польщі та України, зібрані дані узагальнені в таблиці 2.

Аналіз публікацій за тегом «Solar Photovoltaic» вимагає ретельного вивчення. За весь період (1991-2019 рр.) у базі даних Scopus є 2 292 публікації польських дослідників. Хоча «відкритий доступ» для результатів досліджень має лише 403 публікації, можливих для публічного доступу. За кількістю цитування $h=66$ для загальної кількості публікацій «Solar Photovoltaics» за період 1991-2019 років. Однак слід пам'ятати, що не всі публікації стосуються виробництва, зберігання або перетворення сонячної енергії, і лише частина публікацій стосується пошукового запиту [6]. Дослідження зроблені на першій сотні найбільш цитованих та найновіших публікаціях. Найцікавіші з них були відібрані для аналізу.

Найбільш цитується документ [7] з $h=2122$. У ньому представлений короткий огляд добре встановлених багаторівневих перетворювачів, орієнтованих на їх сучасний стан у промислових сферах, та огляд нових перетворювачів, які потрапили в галузь. Крім того, були обговорені нові перспективні топології та нетрадиційні програми, що працюють на багаторівневих перетворювачах.

Однією з найбільш цитованих робіт є [8], про специфічні хімічні та фізико-хімічні вимоги до органічних сполук, що застосовуються в органічних або гібридних електронних пристроях, таких як фотодіоди, світлодіоди, фотоелектричні елементи тощо. Однією з найбільш цитованих (184 рази) та нових публікацій (2019) є [9], про нові нефулеронні органічні напівпровідники n -типу, які привернули значну увагу як акцептори в органічній фотовольтаїці (ОФВ) завдяки своєму великому потенціалу. Вироблені ОФВ показали високу ефективність 15,7 %.

Таблиця 2

Порівняльна статистична характеристика досліджень України та Польщі, проведених у напрямку «Сонячна фотовольтаїка»

Україна	Порівняння	Польща
1 370	Кількість публікацій	2 292
38	h-індекс	66
1. Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv 2. Nat. Univ. «Lviv Polytechnics» 3. Yuriy Fedkovych Chernivtsi Nat. Univ. 4. Institut of Physics, NASU 5. Nat. Techn. Univ. «Kharkiv Polytechnic Institute»	Провідні установи (5 позицій)	1. Politechnika Warszawska 2. Wroclaw Univ. of Science and Technology 3. AGH Univ. of Science and Technology 4. Silesian Univ. of Technology; 5. Lodz Univ.
Engineering (21,63 %) Physics and Astronomy (20,71 %) Material Sciences (19,11 %) Energy (7,98 %) Chemistry (7,64 %)	Найбільше представлени наукові напрямки	Physics and Astronomy (29,5 %) Material Sciences (25,57 %) Engineering (16,73 %) Chemistry (6,68 %) Energy (5,6 %)
Ministry of Education and Science of Ukraine National Academy of Sciences of Ukraine Science and Technology Center in Ukraine State Fund for Fundamental Research of Ukraine European Regional Development Fund	Найбільша фінансова підтримка	Narodowe Centrum Nauki Narodowe Centrum Badan I Rozwoju European Regional Development Fund European Commission Fundacja na rzecz Nauki Polskiej
1. RF 2. Germany 3. Poland 4. United States 5. France	Країна-партнер	1. Germany 2. France 3. United States 4. United Kingdom 5. Ukraine

Серед інших публікацій можна знайти статті, пов'язані з органічними сонячними елементами (organic solar cells), полімерними сонячними елементами (polymer solar cells), напівпровідниковими з гетеропереходами сонячними елементами (semiconductor heterojunctions solar cells), кремнієвими сонячними елементами (silicon-based solar cells), сонячними елементами з барвниками (dye-sensitized solar cells), перовскітною фотовольтаїкою (perovskite photovoltaics) та інші матеріали, завдяки високій ефективності перетворення енергії. У цих роботах описані можливі фізико-хімічні процеси та явища, що відбуваються під час підготовки матеріалів, використання властивостей та їх апробація метастабільності електричних властивостей, фотоелектричних параметрів, світлочутливості та поглинання, хімічної обробки та методів осадження, зон, дефектів, границь зерна, енергії зв'язку, фактори, що впливають на ефективність перетворення тощо. Зокрема, з 1991 р. сонячні елементи з барвниками (dye-sensitized solar cells (DSSC)), викликали значний інтерес з боку наукової та комерційної спільноти завдяки своїм перспективним характеристикам як перетворювачі сонячного світла. Близько 8 % перших 200 публікацій пов'язані з темою матеріалів для сонячних елементів.

За темою «Solar Photovoltaics» [6] найбільш цитуються також дослідження властивостей TiO_2 та ZnO і гетеропереходів на їх основі. Інші високо цитовані публікації – це дослідження полімерних матеріалів у фотоелектричних пристроях із застосуванням полімерних сонячних елементів або дослідження та моделювання метастабільності в сонячних елементах на основі халькопіриту, наприклад $Cu(In,Ga)Se_2$, або на основі $ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se_2$ тонкоплівковий сонячний елемент. Найновіші публікації стосуються питань екології, економіки тощо, зокрема впровадження та застосування гібридних систем перетворення енергії в Польщі. Були також публікації про несиліконові ФВ модулі, дослідження погодних та кліматичних умов щодо

ефективності перетворення сонячної енергії тощо. Результати, представлені в цих роботах, стали основою для розвитку виробництва відновлюваних джерел енергії та ефективної комерціалізації певних наукових результатів.

Сектор сонячної фотовольтаїки є одним з найбільш швидкозростаючих секторів відновлюваної енергії у Польщі та світі. Спостерігається динамічне зростання нових ФВ установок. У 2018 році Польща почала виділятися серед інших країн ЄС і щорічно збільшувалась на 235 МВт – вона вже була на 9-му місці. З огляду на поточні та реальні інвестиції, що тривають, Польща у 2020 році може опинитися на 4 місці в ЄС за щорічним збільшенням нових джерел сонячної енергії.

Сонячна енергетика в Україні активно розвивається з кінця 2008 року з прийняттям «зеленого» тарифу на законодавчому рівні, який зробив фінансово привабливі інвестиції в промислові електромережі сонячні електростанції. Використання сонячних панелей на дахах приватними домогосподарствами до 2050 року може досягати 40-50 %. Крім того, використання сонячних колекторів для обігріву води буде більш економічно вигідним. Ці технології забезпечать потреби на гарячу воду в приватних домогосподарствах на 70-100 % влітку та 15 % взимку.

За досліджений період у Scopus є 1370 публікацій (табл. 2), що на 922 менше, ніж за аналогічний період у Польщі. Лише 114 з 1370 публікацій перебувають у «відкритому доступі». За кількістю цитат $h=38$ для загальної кількості публікацій, пов'язаних із «Solar Photovoltaics» за цей період.

Найбільш цитується публікація за участю українських дослідників [10] з $h=207$ стосується ефективного фотокаталітичного розщеплення води. Стаття [11] була однією з основних у 2000-х роках, в якій були представлені дизайн та фотоелектричні показники сонячних елементів на основі різних напівпровідникових наноматеріалів, таких як TiO_2 , ZnO , CdS , $CdSe$, $CdTe$, CuO , Si та порівняно з відповідними сонячними елементами на основі напівпровідникових наночастинок, специфічні для синтезу та застосування вуглецевих нанотрубок у фотоелектричних пристроях також були розглянуті в цих роботах.

Найбільша кількість публікацій в Україні за темою «Solar Photovoltaics» стосується фотоелектричних матеріалів, головним чином, це високотехнологічні результати, спрямовані на оптимізацію параметрів існуючих матеріалів для фотоелектрики, вдосконалення методів їх виготовлення та дослідження, а також створення нових ефективних та недорогих матеріалів для конкуренції з існуючими [6]. Часто цитуються дослідження властивостей гетероперехідних сонячних елементів на основі $CdTe$. Перші роботи, присвячені вивченню властивостей $CdTe$ в Україні з часів її незалежності, з'явилися в 1997 році. Перші згадки про концепцію квантової ефективності $CdS/CdTeSC$ – у 2012 році. Сонячні модулі на основі розроблених гнучких сонячних елементів $ITO/CdS/CdTe/Cu/Au$ на поліімідних плівках були згадані вперше в 2009 році.

Із перших 200 публікацій дослідників з України за темою «Solar Photovoltaics» ~12,5 % становлять наукові статті на сполуках, що містять $CdTe$, тоді як відсоток публікацій, що стосуються кремнію та його можливих модифікацій для використання у сонячній енергетиці – ~10 %. Хоча в останні роки спостерігається збільшення кількості публікацій інших наукових груп у цій галузі, які демонструють сучасні конкурентні досягнення [12]. Публікації, що розглядають перспективи використання квантових точок у сонячних елементах, дуже популярні. Їх фотофізичні та електрофізичні властивості можуть змінюватись різними розмірами та формою частинок, а QD може забезпечити поглинання сонячної енергії у значно ширшому спектральному діапазоні порівняно зі сполученими органічними сполуками. На першому плані у науці стоять перспективні методики розвитку технологій ФВ-систем другого покоління, ефективність яких зараз порівнянна з ефективністю кремнію, а вартість і витрата матеріалу значно нижчі.

Аналізуючи останні публікації в цілому, можемо спостерігати тенденцію до інтересу моделювання впливів погодних умов на властивості фотоелектричних установок, методів його ідентифікації, моделювання енергопостачання будівель на основі ФВ модулів [12], мікросітка з гібридною системою відновлюваної енергії, концепція накопичення енергії від фотоелектричних та вітроелектростанцій.

Однак структура більшості публікацій має характер фундаментальних досліджень фізики напівпровідників. Напівемпіричні підходи, що поєднують дослідження матеріалознавства, розробку технології виготовлення маломірних структур, тестування отриманих параметрів для

роботи як фотоелемента та вказують на перспективу подальшого практичного застосування – основні особливості українських вчених.

Загалом для України є суттєво вищою у відсотковому співвідношенні [3, 6] кількість публікацій за тегом «Solar Energy» (45 % в Україні проти 38 % у світі). Щоб краще продемонструвати співвідношення між українськими, польськими досягненнями та існуючим станом публікацій у світі, побудовано діаграми, які демонструють відносні значення h-індексів та кількості публікацій (рис. 1). На цих діаграмах нижчі значення демонструють вищий потенціал досягнень дослідників (зворотний характер).

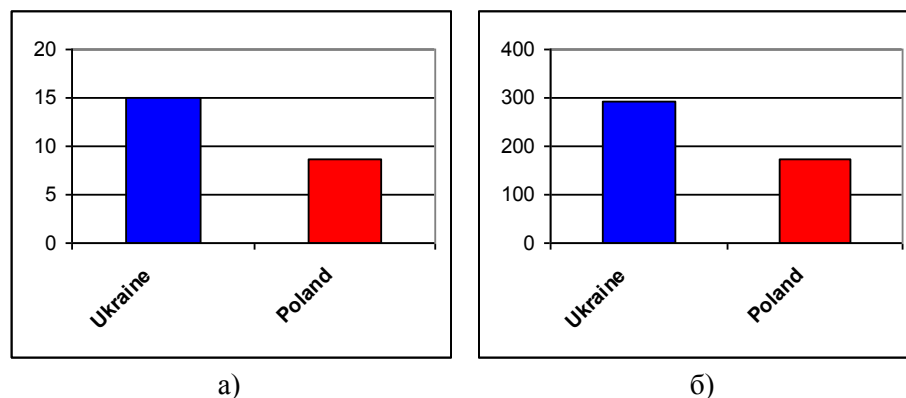


Рис. 1. Співвідношення (а) h-індексів (h_{glob}/h_{ukr} , h_{glob}/h_{pol}) та (б) кількості публікацій (N_{glob}/N_{ukr} , N_{glob}/N_{pol}) за напрямком «Сонячна енергетика» (Solar Energy) науковців України та Польщі до світових

Розглядаючи сонячну енергетику (фотоелектрика / фотовольтаїка) в Україні та Польщі, можна виділити певні спільні риси. Перш за все, співпраця польських та українських вчених, виражена через велику кількість спільних публікацій, що є пріоритетом обох країн. Також вчені обох країн успішно співпрацюють зі своїми колегами з Німеччини та США (табл. 2). Логічно пояснити, що є спільні дослідження як сусідніх держав, так і високотехнологічних, які володіють найсучаснішим обладнанням.

Кількість публікацій про фотоелектрику суттєво відрізняється в обох країнах: 2 292 представлені польськими вченими та 1 370 українськими. H-індекси для польських та українських вчених відповідно 66 та 38. Це майже на 50 % вище для польських видань. Це означає, що публікації українських вчених, які часто мають дуже високий науковий рівень, все ще публікуються у менш відомих журналах світової наукової спільноти, і, отже, менш цитуються.

Очевидно, що у цій сфері кількість публікацій дуже різна, як і h-індекси. Для більш ефективного аналізу визначаються їх нормалізовані залежності:

$$h_{norm} = \frac{h_i}{N_i},$$

де h_i – h-індекс публікацій у відповідному напрямку, N_i – загальна кількість публікацій у цьому напрямку.

Нормалізовані значення h-індексу публікацій українських та польських вчених практично однакові за величиною для напрямку «Фотоелектрика». Тобто можна зробити висновок, що якість наукових публікацій у високотехнологічних фундаментальних напрямках майже однакова для науковців обох країн.

Основні наукові напрямки за ключовим словом «Photoelectricity» зображені на рис. 2. Важливо зазначити, що за напрямком «Фотоелектрика» дослідження польських вчених в основному зосереджені на фундаментальних дослідженнях (Фізика та Матеріалознавство), тоді як для України є певний зсув пріоритету на прикладні дослідження (Інженерія та Фізика). Тобто, значні та визнані технічні рішення є більш специфічними для України. Це стосувалося фотоелектричних досліджень для військових чи космічних цілей. Вони часто мали прикладний аспект і не були спрямовані на публікацію наукових досягнень. Після переорієнтації держави на мирні завдання часто представники найвідоміших установ (Харків, Київ) демонстрували

чималу кількість публікацій про технічні аспекти роботи фотоелектричних систем або проектування ліній для їх виробництва. Але поки що склалася спільна робота, і в результаті з'являються спільні публікації високого рівня.

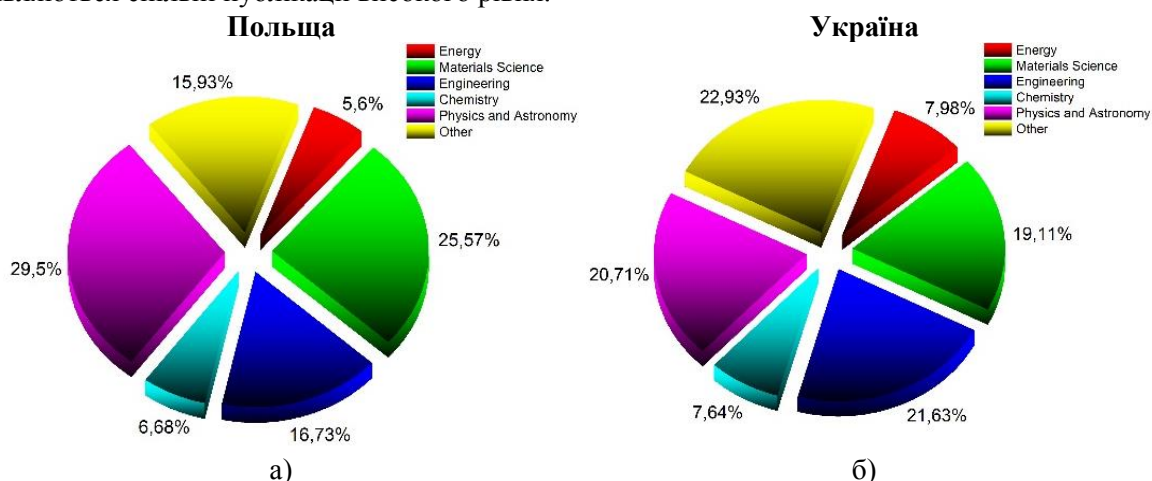


Рис. 2. h-індекси публікацій за науковими напрямками в сонячній фотоелектриці (Solar Photovoltaic) (а) для наукових робіт Польщі, а (б) – український науковців

Тому з 2016 року кількість спільних українсько-польських видань щороку збільшується. Якщо розглядати окремо кількість опублікованих праць у Польщі та Україні за тегом «Solar Photovoltaics» за 2019 рік, то можна зазначити, що в Польщі опубліковано 158 робіт, тоді як в Україні лише 64.

Висновки. Для ефективного розвитку та впровадження відновлювальної енергетики необхідно враховувати різні фактори одночасно. За короткий термін впровадження відновлювальних джерел енергії визначається економічним фактором та наявністю певних інвестицій у зелену енергію. Однак довгострокова перспектива вимагає розробки нових, екологічно чистих та ефективних досліджень та створення можливостей для їх впровадження.

В усьому світі жодна держава не може самостійно вирішити питання відновлення зеленої енергії. Для розвитку міжнародної співпраці було зроблено світовий аналіз та двох сусідніх країн Польщі та України. Крім їх близького географічного положення, існують значні відмінності в економічній та законодавчій системах. Такий аналіз є типовим прикладом розвитку співпраці між державами на кордоні ЄС.

Якість досліджень можна довести на основі якісних наукових публікацій у рецензованих журналах. Кількість та вплив таких наукових публікацій свідчать про потенціал наукових колективів, їх актуальність та можливість впровадження.

Нормалізований h-індекс вказує на те, що у сферах фундаментальних матеріалознавчих досліджень в галузі енергетики практично на одному рівні, незалежно від того, є держава членом ЄС чи ні. Фундаментальні дослідження мають високий пріоритет майже скрізь, тоді як прикладні дослідження, які потребують складних установок для їх тестування або дорогого імітаційного програмного забезпечення, ефективніше впроваджуються в країнах ЄС.

Інформаційні джерела

1. Burke M.J., Stephens J.C. Political Power and Renewable Energy Futures: A Critical Review. *Energy Res. Social Sci.* 2018. Vol. 35. P. 78–93. DOI: 10.1016/j.erss.2017.10.018.
2. Wisz G., Nykyruy L., Yakubiv V., Hryhoruk I., Yavorskyi R. Impact of Advanced Research on Development of Renewable Energy Policy: Case of Ukraine. *Int. J. Renewable Energy Res.* 2018. Vol. 8, № 4. P. 2367–2384.
3. Nykyruy L.I., Zamurujeva O.V., Urban O.A., Fedosov S.A. The Impact of Scientific Research on the Development of Renewable Energy. *Perspective Technologies and Devices.* 2020. № 16. P. 82–91. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-16
4. Renewable Power Generation Costs in 2017. Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency, 2018. 160 p.
5. O'Regan B., Grätzel M. A Low-cost, High-efficiency Solar Cell Based on Dye-sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature.* 1991. Vol. 353. P. 737–740. DOI: 10.1038/353737a0

6. Nykyruy L., Yakubiv V., Wisz G., Hryhoruk I., Zapukhlyak Z., Yavorskyi R. Renewable Energy in Ukraine - Poland Region: Comparison, Critical Analysis and Opportunities. In Renewable Energy-Resources, Challenges and Applications. IntechOpen. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.91686
7. Kouro S., Malinowski M., Gopakumar K., Pou J., Franquelo L.G., Wu B., Rodriguez J., Perez M.A., Leon J.I. Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters. IEEE Trans. Ind. Electron. 2010. Vol. 57, № 8. P. 2553–2580. DOI: 10.1109/TIE.2010.2049719
8. Pron A., Gawrys P., Zagorska M., Djurado D., Demadrille R. Electroactive Materials for Organic Electronics: Preparation Strategies, Structural Aspects and Characterization Techniques. Chem. Soc. Rev. 2010. Vol. 39, № 7. P. 2577–2632. DOI: 10.1039/B907999H
9. Yuan J., Zhang Y., Zhou L. [et al]. Single-Junction Organic Solar Cell with over 15% Efficiency Using Fused-Ring Acceptor with Electron-Deficient Core. Joule. 2019. Vol. 3, № 4. P. 1140–1151. DOI: 10.1016/j.joule.2019.01.004
10. Pihosh Y., Turkevych I., Mawatari K. [et al]. Photocatalytic Generation of Hydrogen by Core-shell WO₃/BiVO₄ Nanorods with Ultimate Water Splitting Efficiency. Sci. Rep. 2015. Vol. 5. P. 11141. DOI: 10.1038/srep11141
11. Kislyuk V.V., Dimitriev O.P. Nanorods and Nanotubes for Solar Cells. J. Nanosci. Nanotechnol. 2008. Vol. 8, № 1. P. 131–148. DOI: 10.1166/jnn.2008.N16
12. Wisz G., Virt I., Sagan P., Potera P., Yavorskyi R. Structural, Optical and Electrical Properties of Zinc Oxide Layers Produced by Pulsed Laser Deposition Method. Nanoscale Res. Lett. 2017. Vol. 12. P. 253–259. DOI: 10.1186/s11671-017-2033-9

Никируй Л.И.¹, канд. физ.-мат. наук, Замуруева О.В.², канд. физ.-мат. наук, Новосад А.В.², канд. физ.-мат. наук, Федосов С.А.², д-р физ.-мат. наук

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

²Волинський національний університет імені Леси Українки

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе проанализированы публикации авторитетных мировых ученых и из двух стран – Украины и Польши в области «Фотоэлектричество / Фотовольтаика», чтобы найти закономерности как развития этого направления в каждом государстве, так и определить перспективы для совместных исследований. Анализ основывается на результатах данных, опубликованных в международных научных базах данных Web of Science и Scopus. Выявлено современные области исследований в каждой стране, проанализированы как теоретические, так и прикладные исследования, направленные на практическое применение.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, фотоэлектрика, фотовольтаика, солнечные элементы, h-индекс.

Nykyruy L.I.¹, Cand. Sc. (Phys. & Math.), Zamurujeva O.V.², Cand. Sc. (Phys. & Math.), Novosad O.V.², Cand. Sc. (Phys. & Math.), Fedosov S.A.², Dr. Phys. & Math. Sc.

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

²Lesya Ukrainka Volyn National University

PROSPECTIVE SOLAR CELLS MATERIALS AND TECHNOLOGIES

The paper analyzes the publications of authoritative world scientists and from two countries – Ukraine and Poland in the fields of «Photoelectricity / Photovoltaic» in order to find regularities in both the development of these areas in each state and to determine the prospects for joint research. The analysis is based on the results of data published in the international scientific databases Web of Science and Scopus. The most advanced areas of research in each country are identified, both theoretical and applied research are analyzed, aimed at practical application.

Keywords: renewable energy, photoelectricity, photovoltaic, solar cells, h-index.

УДК 621. 315. 592

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-27

Новосад О. В., Божко В. В., Федосов С. А., Шигорін П. П.

Волинський національний університет імені Лесі Українки

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$

В роботі дослідженні термоелектричні властивості твердих розчинів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$. Показано, що електричні та термоелектричні властивості залежать від складу твердого розчину $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$. Змінюючи склад твердих розчинів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ можна плавно змінювати їх електричні та термоелектричні властивості. Більшість досліджуваних сполук виявились напівпровідниками р-типу провідності. Питома електропровідність кристалів на основі AgSbSe_2 із збільшенням PbSe зменшувалась від $1,4 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, для монокристалів AgSbSe_2 , до $10^2 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, для монокристалів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ з вмістом 40 мол. % PbSe . Також зменшення питомої електропровідності спостерігалось і для монокристалів на основі PbSe із збільшенням вмісту AgSbSe_2 . В $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ на основі AgSbSe_2 збільшенням вмісту PbSe призводить до зростання коефіцієнта Зеебека від 530 мкВ/К до 1100 мкВ/К для AgSbSe_2 та монокристалів складу 60% $\text{AgSbSe}_2\text{-40\% PbSe}$. Досліджувані в роботі монокристали, маючи високе значення α , можуть використовуватися як матеріали чутливих термодатчиків.

Ключові слова: монокристали, коефіцієнт Зеебека, електропровідність, термоелектрична потужність, коефіцієнт теплопровідності, термодатчики.

Постановка наукової проблеми. Потрійні напівпровідникові сполуки типу $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{V}}\text{C}_2^{\text{VI}}$, завдяки їх високому коефіцієнту термоелектричної добротності ZT, досить відомі, як матеріали для приладів термоелектрики. Так, наприклад, сполука AgSbSe_2 – перспективний термоелектричний матеріал для високотемпературного інтервалу [1].

В представленій роботі з метою пошуку нових матеріалів для напівпровідникової електроніки проведені дослідження монокристалічних твердих розчинів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$. Значна увага приділяється термоелектричним властивостям твердих розчинів на основі AgSbSe_2 .

Поряд із застосуванням AgSbSe_2 як матеріалів для термоелектричних перетворювачів, останнім часом зріс інтерес до AgSbSe_2 та твердих розчинів на їх основі, як до матеріалів, що можуть виконувати функції перемикаючого середовища систем оптичної пам'яті [2]. Також слід відмітити, що одним із методів покращення діючих термоелектричних перетворювачів енергії є включення нанорозмірних частинок у їх склад. Такими матеріалами для AgSbSe_2 можуть бути тверді розчини на її основі.

AgSbSe_2 утворюється у системі $\text{Ag}_2\text{Se-Sb}_2\text{Se}_3$ і має область гомогенності 50-62 мол. % Sb_2Se_3 . Сполука плавиться конгруентно при 908 К, кристалізується у кубічній сингонії, просторова група $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$, структурний тип NaCl з періодом елементарної комірки $a=0,578$ нм [3].

Халькогеніди свинцю PbX , де ($\text{X}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$), набули широкого використання як матеріали для створення термоелектричних перетворювачів енергії та елементів оптоелектронних приладів, що функціонують в інфрачервоній області електромагнітного спектру [4; 5]. Високі термоелектричні параметри халькогенідів свинцю спричинені їх специфічними фізичними властивостями: низькими значеннями фононної теплопровідності при порівняно високій рухливості вільних носіїв заряду. Також слід відмітити, що халькогеніди свинцю належать до вузькозонних напівпровідників. Тому при більш високих температурах стає суттєвим ще один фундаментальний параметр – ширина забороненої зони, яка визначає початок власної провідності. У нових галузях напівпровідникового матеріалознавства PbX ($\text{X}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) знаходять застосування як матеріали для створення гетеропереходів [6], надрешіток [7, 8] нанодротів [9] та квантових точок [10].

З [5; 11] відомо, що одним зі способів підвищення термоелектричної добротності електрогенераторів на основі PbX ($\text{X}=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) є використання твердих розчинів на їх основі. Тому в роботі досліджувались тверді розчини PbSe-AgSbSe_2 на основі PbSe , які відповідали компонентному складу 0, 5 і 8 мол.% AgSbSe_2 .

PbSe утворюється у системі Pb-Se , плавиться конгруентно при 1353 К, кристалізується у кубічній сингонії, просторова група $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$, структурний тип NaCl з періодом елементарної комірки $a=0,61243$ нм [12].

Мета і завдання.

Термоелектричними методами встановити тип провідності твердих розчинів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$. Визначити питому електропровідність, коефіцієнт Зеебека. Дослідити залежність електричних та термоелектричних властивостей сплавів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ від вмісту PbSe .

Методика та техніка експерименту.

Для дослідження фізичних властивостей твердих розчинів PbSe-AgSbSe_2 шляхом шліфування й полірування алмазними пастами різної зернистості виготовлялися зразки у формі правильних паралелепіпедів зі злитків, отриманих при вирощуванні. Середні розміри зразків становили $\sim 8 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$. Зі шліфів цих зразків зняті дифрактограми, на яких виявилось по одному рефлексу, що підтверджує їх монокристалічність.

Для всіх монокристалічних зразків виміряні значення питомої електропровідності при $T=300 \text{ К}$ та коефіцієнта термо-ерс. Вимірювання питомого опору та дослідження термоелектричних властивостей проводили на стандартних установках на постійному сигналі. Тип провідності встановлювався термоелектричними методами. Електричні та термоелектричні вимірювання здійснювали також на зразках, виготовлених у формі правильних паралелепіпедів розмірами $8 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$, на які наносили індієві контакти або контакти з галій-індієвої евтектики. Омичність контактів перевірялась дослідженням ВАХ, які показали, що всі контакти є омичними. Обробку поверхні зразків для дослідження фізичних властивостей здійснювали шліфуванням та поліруванням алмазними абразивами різної зернистості.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Згідно з даними, представленими в табл. 1., всі тверді розчини $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ на основі AgSbSe_2 належать до напівпровідників діркового типу провідності. В [2] повідомлялося, що р-тип провідності в монокристалах AgSbSe_2 може обумовлюватись присутністю в кристалічній структурі AgSbSe_2 точкових дефектів, обумовлених вакансіями Ag (V_{Ag}), які виконують роль акцепторних центрів, або, у випадку неоднорідних зразків, мікроструктурними дефектами.

Наявність великої концентрації V_{Ag} може обумовлюватись механізмом утворення твердого розчину. Згідно з яким тверді розчини на основі AgSbSe_2 утворюються шляхом заміщення атомів Ag^+ та Sb^+ двома атомами Pb^{2+} . А саме, ймовірністю часткового заповнення атомами Pb^{2+} кристалографічних позицій атомів Ag^+ через більші розміри атомів Pb^{2+} за розміри Ag^+ .

Про дірковий тип провідності монокристалів PbSe повідомлялось в [13; 14]. Крім того, відомо [15], що тип провідності холькогенідів свинцю визначається або надлишком Pb по відношенню до стехіометричного складу (n-тип провідності), або надлишком халькогеніду (р-тип провідності). Кристали складу 95 мол.% PbSe – 5 мол.% AgSbSe_2 виявились сполуками n-типу провідності. Збільшення вмісту другої компоненти (AgSbSe_2) до 8 мол.% призвело до інверсії типу провідності.

Таблиця 1.

Термоелектричні та електричні параметри твердих розчинів $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ при $T=300 \text{ К}$

№	mol.% PbSe	Тип провідності	σ , $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$	α , мкВ/К	$\alpha^2\sigma$, $10^{-6} \text{ Вт/м}\cdot\text{К}^2$
1	0	p	1,4	530	49
2	10	p	0,9	650	37
3	20	p	0,5	700	17
4	30	p	0,02	940	2
5	40	p	0,01	1100	1,1
*6	50	p	0,16	400	2,6
7	92	p	22	180	0,71
8	95	n	33	60	0,12
9	100	p	350	220	17

* - двофазні зразки.

На рис. 3. представлені результати досліджень залежності питомої електропровідності від складу твердого розчину $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ при кімнатних температурах. В [16] повідомлялось про величину питомої електропровідності для монокристалів AgSbSe_2 $5 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, що узгоджується з нашими результатами. Концентрація дірок в монокристалах AgSbSe_2 , згідно з [16], становила $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, що обумовлювало їх стан, близький до виродженого. Зменшення питомої електропровідності зі зростанням вмісту PbSe в досліджуваних нами твердих розчинах

AgSbSe₂-PbSe на основі AgSbSe₂, очевидно, обумовлюється зменшенням рухливості вільних носіїв заряду внаслідок зростання дефектності кристалічної решітки, що узгоджується з раніше зробленими висновками.

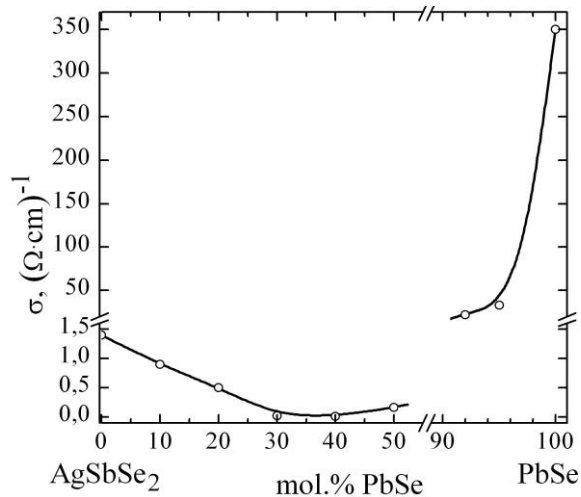


Рис.3. Залежність питомої електропровідності твердих розчинів AgSbSe₂-PbSe від їх компонентного складу.

Графічно залежність коефіцієнта Зеебека (α) від складу твердого розчину зображено на рис. 4. Збільшення вмісту PbSe в твердому розчині AgSbSe₂-PbSe в межах однофазної розчинності призводить до плавного зростання α. Маючи високе значення α, тверді розчини AgSbSe₂-PbSe можуть використовуватися як матеріали чутливих термодатчиків.

Для визначення термоелектричної потужності твердих розчинів AgSbSe₂-PbSe на основі AgSbSe₂, так само, як твердих розчинів на основі PbSe, використовували співвідношення α²σ. Для порівняння результатів досліджень двох рядів твердих розчинів на рис. 5. та в табл. 1. представлена залежність α²σ від складу. З представлених даних видно, що максимальне значення α²σ властиве монокристам AgSbSe₂. Збільшення вмісту PbSe в твердому розчині AgSbSe₂-PbSe призводить до плавного зменшення термоелектричної потужності, очевидно, що це відбувається за рахунок зменшення σ.

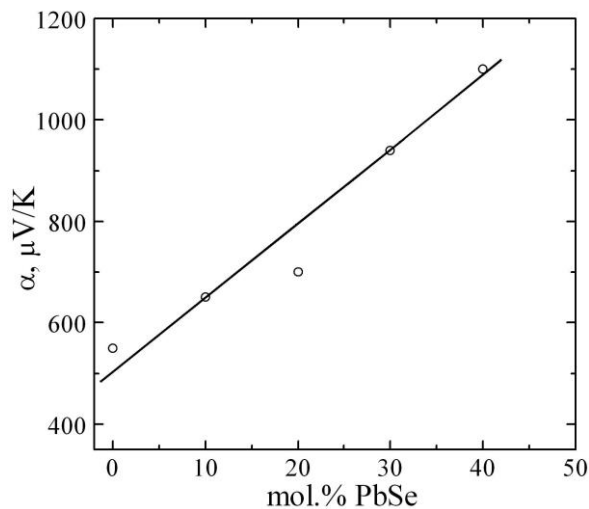


Рис. 4. Залежність коефіцієнта термо-ерс монокристалів твердого розчину AgSbSe₂-PbSe від вмісту PbSe.

Ефективність роботи термоелектричних перетворювачів енергії визначається термоелектричною добротністю використаних в ньому матеріалів, яка визначається величиною [11; 17]:

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi_{tot}} \quad (1)$$

Як слідує з формули (1), крім високого значення α та σ термоелектричні елементи повинні мати невеликий коефіцієнт теплопровідності χ_{tot}. Також слід відмітити, що, оскільки

добротність має розмірність K^{-1} , то на практиці часто використовують безрозмірну добротність ZT , де T – абсолютна температура.

Повна питома теплопровідність (χ_{tot}) напівпровідника, в найбільш загальному випадку, складається з граткової теплопровідності (χ_{ph}) та електронної теплопровідності (χ_e):

$$\chi_{tot} = \chi_{ph} + \chi_e \quad (2).$$

Теплопровідність кристалічної гратки χ_{ph} в першому наближенні не залежить від концентрації вільних носіїв заряду n , χ_e пропорційна n .

Для оцінки електронної складової теплопровідності, можна використати закон Відемана-Франца [18, 19]:

$$\chi_e = L \sigma T \quad (3),$$

де T – абсолютна температура, σ – питома електропровідність, L – число Лоренца. Для невідроджених напівпровідників та у випадку степеневої залежності часу релаксації від енергії ($\tau \sim \varepsilon^r$), L визначається формулою [18]

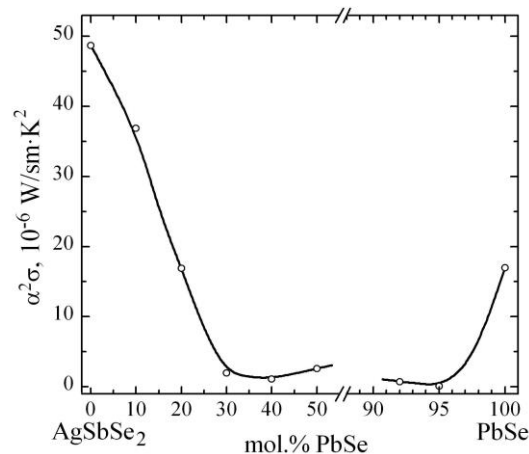


Рис. 5. Залежність термоелектричної потужності твердого розчину $\text{AgSbSe}_2\text{-PbSe}$ від вмісту PbSe .

$$L = \left(r + \frac{5}{2} \right) \left(\frac{k}{e} \right)^2 \quad (4)$$

де r – параметр, який залежить від механізму розсіювання вільних носіїв заряду, k – стала Больцмана, e – заряд електрона.

Оскільки, як відмічалось раніше, досліджувані сполуки при кімнатних температурах проявляють властивості вироджених напівпровідників, то, згідно з [18; 19], число Лоренца не залежить від механізму розсіювання і описується виразом

$$L = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k}{e} \right)^2 \quad (5).$$

Таким чином, враховуючи формули (3) та (5) отримаємо, що

$$\chi_e = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k}{e} \right)^2 \sigma T \quad (6).$$

Визначити решіткову складову теплопровідності можна із виразу для коефіцієнта термоерс [5],

$$\alpha = 2 \left(\frac{k}{e} \right) \left(1 + \frac{\chi_e}{\chi_{ph}} \right) \quad (7).$$

Одержане на основі (6) значення електронної складової теплопровідності для PbSe становило $\chi_e = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/К} \cdot \text{см}$. У твердих розчинах PbSe-AgSbSe_2 $\chi_e = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/К} \cdot \text{см}$ та $\chi_e = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/К} \cdot \text{см}$ для зразків з 5 і 8 мол.% AgSbSe_2 відповідно. Коефіцієнт фононної теплопровідності для монокристалів PbSe , оцінений з формули (7), виявився $\sim 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/К} \cdot \text{см}$. Слід відмітити, що згідно з даними роботи [20], фононна складову коефіцієнта теплопровідності для халькогенідів свинцю становить $\sim 2,09 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/К} \cdot \text{см}$, що виявилось близьким до розрахованого нами значення.

Для сполук PbSe повна теплопровідність $\chi_{\text{tot}} = \chi_{\text{ph}} + \chi_{\text{e}} \approx 1,2 \cdot 10^{-2}$ Вт/К·см. Отримані на основі формули (1) значення термоелектричної добротності при кімнатних температурах ($T \approx 300$ К) $ZT \approx 0,42$. Високе значення термоелектричної добротності монокристалів PbSe свідчить про перспективу їх використання як матеріалів для термоелектрогенераторів. Як показали аналогічні розрахунки, для монокристалів PbSe–AgSbSe₂ з 5 і 8 мол.% AgSbSe₂ ZT зменшується до $\sim 10^{-2}$ – 10^{-3} , що, згідно формули (1), є результатом зменшення α і σ .

Отримані з використанням формули (3) значення χ_{e} для монокристалів AgSbSe₂ становили $1 \cdot 10^{-3}$ Вт·К⁻¹·м⁻¹. За різними даними [16; 21; 22], для монокристалів AgSbSe₂ коефіцієнт повної теплопровідності (χ_{tot}) змінювався в межах 0,3 – 0,81 Вт·К⁻¹·м⁻¹.

Розраховане за формулою (1) значення ZT для досліджуваних монокристалів AgSbSe₂ при умові, що $\chi_{\text{tot}} = 0,6$ Вт·К⁻¹·м⁻¹ та $T = 300$ К, виявилось рівним $2,2 \cdot 10^{-2}$, що добре узгоджується з літературними даними [2]. Також враховуючи, що для монокристалів AgSbSe₂ $\chi_{\text{e}}/\chi_{\text{tot}} \approx 10^{-3}$, можна стверджувати, що: $\chi_{\text{tot}} \approx \chi_{\text{ph}}$. Слід відмітити, що подібні результати мають місце і для інших сильнолегованих напівпровідників [23], так, наприклад, для кремнію n-типу провідності з концентрацією донорів $8 \cdot 10^{19}$ см⁻³. Для деяких твердих розчинів CuInSe₂-ZnIn₂Se₄, стан яких був близький до виродженого, отримані аналогічні результати в роботі [24, 25].

Висновки. Показано, що змінюючи склад твердих розчинів AgSbSe₂–PbSe можна плавно змінювати їх електричні та термоелектричні властивості.

Питома електропровідність монокристалів на основі AgSbSe₂ із збільшенням PbSe зменшувалась від $1,4$ Ом⁻¹·см⁻¹, для монокристалів AgSbSe₂, до 10^{-2} Ом⁻¹·см⁻¹, для монокристалів AgSbSe₂–PbSe з вмістом 40 мол. % PbSe. Також зменшення питомої електропровідності спостерігалось і для монокристалів на основі PbSe із збільшенням вмісту AgSbSe₂.

Важливим висновком є те, що в твердих розчинах AgSbSe₂–PbSe на основі AgSbSe₂ збільшенням вмісту PbSe призводить до зростання коефіцієнта Зеебека від 530 мкВ/К до 1100 мкВ/К для AgSbSe₂ та монокристалів складу 60% AgSbSe₂–40% PbSe.

Більшість досліджуваних сполук виявились напівпровідниками p-типу провідності.

Досліджувані в роботі монокристали, маючи високе значення α , можуть використовуватися як матеріали чутливих термодатчиків, які використовуються в системах автоматичного управління, в основі принципу дії яких лежить перетворення величини температури в електричний сигнал. Але вони не є перспективними (за виключенням монокристалів PbSe) матеріалами терморелектрогенераторів, для яких значення ZT лежить в інтервалі 0,1–1.

Джерела та література

1. Influence of doping on structural and thermoelectric properties of AgSbSe₂ / K. Wojciechowski, M. Schmidt, J. Tobola [et al.] // J. of Electron. Mater. – 2010. – Vol. 39, No. 9. – P. 2053–2058.
2. Schmidt M. Structural and thermoelectric properties of AgSbSe₂–AgSbTe₂ system / M. Schmidt, R. Zybala, K. T. Wojciechowski // Ceramic Materials. – 2010. – Vol. 62, № 4. – P. 465–470.
3. Description du systeme ternaire Ag-Sb-Se / Aïcha Boutserri, Rolande Ollitrault-Fichet, Jacques Rivet, Jérôme Dugué // J. Alloys Compd. – 1993. – Vol. 191, № 2. – P. 223–232.
4. Rowe D. M. Handbook of thermoelectrics. / D. M. Rowe. – New. York : CRC Press, 1995. – 703 p.
5. Равич Ю.И. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS / Ю.И. Равич, Р.А. Ефимова, И.А. Смирнов. – М. : Наука, 1995. – 384 с.
6. Гавриков Т.А. Электрические и фотоэлектрические свойства анизотропного гетероперехода Pb_{0,93}Sn_{0,07}Se/PbSe // Гавриков Т.А., Зыков В.А. / ФТП. – 1997. – Т. 31, № 11. – С. 1342–1346.
7. Growth mechanism and thermoelectric properties of PbTe/SnTe/PbTe heterostructures // E.I. Rogacheva, S.N. Grigorov, O.N. Nashchekina, [at al.] / Thin Solid Films – 2005. – Vol.493, №1-2. – P. 41–48.
8. Quantum size effects in n-PbTe/p-SnTe/n-PbTe heterostructures // E.I. Rogacheva, O.N. Nashchekina, A.V. Meriuts, [at al.] / Appl. Phys. Lett. – 2005. – Vol.86, №6. – P. 238–243.
9. PbTe Nanorods by Sonochemistry // X. Qiu, Y. Lou, A.C.S. Samia, [at al.] / Angew. Chem. Int. Ed. – 2005. – Vol.44, №36. – P. 5855–5857.

10. Oscillatory behaviour of the transport properties in PbTe quantum wells // E.I. Rogacheva, O.N. Nashchekina, S.N. Grigorov, [et al.] // Nanotechnology – 2003. – Vol.14, №1. – P. 53–58.
11. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термо-электрические устройства: Справочник / Л.И. Анатычук. – К. : Наук. Думка, 1979. – 768 с.
12. Шелимова Л. Е. Диаграммы состояния в полупроводниковом материаловедении: системы на основе халькогенидов Si, Ge, Sn, Pb / Л. Е. Шелимова, В. Н. Томашик, В. И Грыцив. – М. : Наука, 1991. – 386 с.
13. Электрические, гальваномагнитные и термоэлектрические свойства PbSe в подрешетке пустот опала // Арутюнян Л.И., Богомолов В.Н., Курдюков Д.А., Попов В.В., Прокофьев А.В., Смирнов И.А. / ФТТ. – 1998. – Т. 40, № 4. – С. 781–783.
14. Теруков И.Е. Электронный обмен между нейтральными и ионизированными центрами германия в PbSe // Теруков И.Е., Хужакулов Э.С. / ФТП. – 2005. – Т. 39, № 12. – С. 1420–1422.
15. Теруков Е.И. Двухэлектронные центры германия с отрицательной корреляционной энергией в халькогенидах свинца // Теруков Е.И., А.В. Марченко, А.В. Зайцева, П.П. Серегин / ФТП. – 2007. – Т. 41, № 12. – С. 1434–1439.
16. High thermoelectric performance in tellurium free p-type AgSbSe₂ / Satya N. Guin, Arindom Chatterjee, Devendra Singh Negi [et al.] // Energy & Environmental Science – 2013. – No. 9. – P. 2603–2608.
17. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы / А.Ф. Иоффе. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. – 188 с.
18. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников / А.И. Ансельм. – М. : Мир, 1978. – 616 с.
19. Зеегер К. Физика полупроводников / К. Зеегер – М. : Мир, 1977. – 629 с.
20. Thermoelectric Figure of Merit Optimization of PbX (X =S, Se, Te) Crystals // D.M. Freik, L.I. Nykyruy, R.O. Dzumedzey [et al.] / Physics and chemistry of solid state – 2013. – Vol.14, №2. – P. 383–389.
21. Synthesis and high pressure studies of the semiconductor AgSbSe₂ / Ravhi S. Kumar, A. Sekar, N. Victor Jaya, S. Natarajan // J. Alloys Compd. – 1999. – Vol. 285, № 1-2. – P. 48–50.
22. Crystal structure, electronic and transport properties of AgSbSe₂ and AgSbTe₂ / K. Wojciechowski, J. Tobola, M. Schmidt, R. Zyal // J. of Phys. Chem. Solids – 2008. – Vol. 69, № 11. – P. 2748–2755.
23. Фистуль В. И. Сильно легированные полупроводники / В. И. Фистуль. - М. : Наука, 1967. – 416 с.
24. Особливості електропровідності, термо-ЕРС та оптичного поглинання твердих розчинів CuInSe₂-ZnIn₂Se₄ та CuInS₂-ZnIn₂S₄ / В. В. Божко, Г. Є. Давидюк, О. В. Новосад [та ін.] // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фізичні науки. – 2008. – №. 18. – С. 3–10.
25. Electrical and Optical Properties of Solid Solutions Cu_{1-x}Zn_xInSe₂ (x = 0.05 – 0.2) / V.V. Bozhko, G.Y. Davyduyk, O.V. Parasyuk, O.V. Novosad, V.R. Kozer // Ukrainian Journal of Physics. – 2010. – Vol. 55, № 13. – P. 312–316.

Новосад А. В., Божко В. В., Федосов С. А., Шигорин П. П.
 Волинский национальный университет имени Леси Украинки

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ AgSbSe₂-PbSe

В работе исследованы термоэлектрические свойства твердых растворов AgSbSe₂-PbSe. Показано, что электрические и термоэлектрические свойства зависят от состава твердого раствора AgSbSe₂-PbSe. Изменяя состав твердых растворов AgSbSe₂-PbSe можно плавно изменять их электрические и термоэлектрические свойства. Большинство исследуемых соединений оказались полупроводниками p-типа проводимости. Удельная электропроводность кристаллов на основе AgSbSe₂ с увеличением PbSe уменьшалась от 1,4 Ом⁻¹·см⁻¹, для монокристаллов AgSbSe₂, до 10⁻² Ом⁻¹·см⁻¹, для монокристаллов AgSbSe₂-PbSe с содержанием 40 мол. % PbSe. Также уменьшение удельной электропроводности наблюдалось и для монокристаллов на основе PbSe с увеличением содержания AgSbSe₂. В AgSbSe₂-PbSe на основе AgSbSe₂ увеличением содержания PbSe приводит к росту коэффициента Зеебека от 530 мкВ / К до 1100 мкВ / К для AgSbSe₂ и монокристаллов состава 60% AgSbSe₂-40% PbSe. Исследуемые

в работе монокристаллы, имея высокое значение α , могут использоваться как материалы чувствительных термодатчиков.

Ключевые слова: монокристаллы, коэффициент Зеебека, электропроводность, термоэлектрическая мощность, коэффициент теплопроводности, термодатчики.

O.V. Novosad, V.V.Bozhko, S.A. Fedosov, P.P. Shygorin

Lesya Ukrainka Volyn National University

THERMOELECTRIC PROPERTIES OF AgSbSe₂ – PbSe CRYSTALS

In the present paper the thermoelectric properties of the AgSbSe₂-PbSe solid solutions has been investigated. The most of compounds have a p-type of conductivity. It was shown that both an electric and thermoelectric properties are dependent on the components ratio in AgSbSe₂-PbSe solid solutions. Hence, by tuning the percent ratio of PbSe we can change continuously the electric conductivity of samples. The specific electric conductivity of compounds based on AgSbSe₂ decreases from value 1,4 Ом⁻¹·см⁻¹ to the value 10⁻² Ом⁻¹·см⁻¹ with increasing the percent of PbSe in compounds from zero to 40% respectively. In the paper we also obtained the empirical values of the Seebeck coefficient for the AgSbSe₂-PbSe solid solutions. The values of the Seebeck coefficient are within 530 мкВ/К - 1100 мкВ/К for the AgSbSe₂ monocrystals with 60% AgSbSe₂-40% PbSe percent range. The high value of Seebeck coefficient for AgSbSe₂-PbSe solid solutions gives possibility of using these compounds as sensitive thermometers.

Key words: monocrystals, Seebeck coefficient, electric conductivity, thermometers.

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 1 см нижче назви статті, набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт 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 1 см 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. Приладобудування (каб. 40)**, 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, російською або англійською мовами. Вартість публікації становить **50 грн.** за 1 стор.

Оплата проводиться за реквізитами:

Картка Приват банку № 5168 7573 4753 6411

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 технічного секретаря – **Марчук Ірини Вікторівни** за тел. **(0332) 26-49-43**, 095-862-18-12, або за електронною адресою: confkptm@gmail.com.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Комп'ютерний набір: Марчук І.В.
Технічний редактор: Марчук І.В..
Відповідальний за випуск Марчук В.І.
Друкується в авторській редакції

Здано у виробн. 26.12.2020 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.