

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Луцький національний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19

Збірник наукових праць

Випуск 19
(грудень, 2021)

Луцьк 2021

УДК 006, 537, 538, 546, 620, 621, 681

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету, протокол № 4 від 25 листопада 2021 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 2021р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021.-146 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, 2021 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР ВИДАННЯ	
Марчук Віктор Іванович , доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Україна.	
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ	
1.	Марчук Ірина Вікторівна , кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, 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 автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, 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 кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, 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 автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, 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 прикладної механіки та мехатроніки, 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.	Савчук Петро Петрович , доктор технічних наук, професор, професор, Луцький національний технічний університет, Україна.

ЗМІСТ	
Абрамов С.О., Гришин В.С., Довганюк Г.М. Підвищення працездатності деталей з магніто-м'яких сплавів шляхом комплексної технології пароплазмової обробки	7
Білик С.Г. к.т.н., доцент, Диня В.І. к.т.н., доцент. Забезпечення надійності технологічного процесу очищення коренеплодів	15
Богомолів М.Ф., Троць А.А., Симонюк В.П. Автономне джерело живлення на воді	20
Вакуленко Д.В., Гевко О.В., Вакуленко Л.О., Кіфер В.М. Перспективні напрямки у створенні системи віртуальної реальності для корекції психофізіологічного стану пацієнта	27
Глухова Н.В., Пісоцька Л.А. Інформаційно-вимірвальна технологія оцінки біологічних характеристик води	34
Григор'єва Н.С., Марчук І. В., Шабайкович В.А. Моделювання процесів автоматичного складання приладів	40
Денисюк В.Ю. Система автоматичного регулювання прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа	44
Дубчак Н. А. Обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочого органу для відокремлення гички цукрових буряків	49
Дубчак Н. А. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гвинтово-еліпсного очисника бурякозбиральних машин	54
Карась В.І., Драган А.П. Роль стандартизації в виробництві, експлуатації і утилізації акумуляторних батарей для електротранспорту	60
Калінін Є.І., Коробко А.І., Шатіхіна В.Є. Кількісна оцінка втрати адекватності при формуванні моделі випробувань	67
Ліннік А.Ю. Тенденції розвитку технологій та гичкочисних машин цукрових буряків	72
Маркіна Л.М., Сацик В.О., Смолянкін О.О. Використання нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання концентрації замісу при виробництві спирту	78
Марчук В.І., Марчук І.В., Карпюк В.О., Грисюк О.А. Про вплив віброакустичних коливань в процесі шліфування на показники якості шліфованих поверхонь	85
Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Божко Т.Є. Про вплив конструктивних параметрів переривчастого круга на температуру в зоні безцентрового шліфування	91
В.І. Марчук, І.В. Марчук, Ю.А. Лук'янчук, Гринюк С.В. Про особливості використання витратних матеріалів для тривимірного друку методом пошарового наплавлення	97
Никируй Л.І., Федосов С.А., Яремій І.П., Замуруєва О.В., Федосов В.С., Сахнюк П.В. Актуальні проблеми комп'ютерної фізики	105
Новіков Ф. В., Новіков Г. В. Підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування	111

Придальний Б.І. Методика визначення впливу відцентрових сил на роботу механізмів автоматичного затиску циліндричних заготовок та інструментів	118
Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Денисюк В.Ю., Решетило О. М. До автоматизації освітленості виробничих приміщень за допомогою комбінованого освітлення	123
Стасюк В.М. Інституціональне середовище цивільної безпеки: вплив на безпеку виробництва	129
Фльонц О.В., Кирик О.М. Стенд для дослідження навантажувальної здатності шліцьових приводів машин	135
Швець С. В., Швець У. С. Моделювання положень змінних багатогранних пластин на корпусі різального інструмента	138
А.В. Беспалова, О.А.Файзуліна, О.І. Книш, О.П.Дашковська, Т.В. Чумаченко Аналітичні дослідження закономірностей мікростружкоутворення при розрізанні каменів для будівельних робіт	144
Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л. Параметрична стандартизація гвинтових і шнекових заготовок	151
Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л. Дослідження технології навивання кільцевих секторних заготовок для виготовлення гвинтових заготовок	161

УДК 621.7.047.7

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-1

¹Абрамов С.О., ¹Гришин В.С., ²Довганюк Г.М.¹Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна²Фаховий коледж ракето-космічного машинобудування Дніпровського національного університету, м. Дніпро, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ З МАГНІТО-М'ЯКИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПАРОПЛАЗМЕНОЇ ОБРОБКИ

Підвищення експлуатаційних характеристик деталей електроклапанів, рушійних установок орбітальних супутників, а отже, їх життєвого циклу, можливо добитися застосуванням різних технологій їх поверхневої обробки, таких як нанесення спеціальних покриттів, модифікація робочих поверхонь деталей, а також підбором методів обробки для зменшення залишкових напруг. Специфіка оброблюваних деталей (корозійна стійкість, магнітні властивості) потребує розробки спеціальних методів покриття. Була проведена підготовка вихідних даних для розробки технологій покриттів на основі аналізу літературних джерел та раніше проведених досліджень.

Експериментально проведена активація поверхні з магніто-м'якого сплаву під покриття хромом з наступним поліруванням. На основі розробленого комплексного технологічного процесу, який засновано на сучасних методах підготовки та активації поверхонь під покриття, екологічно безпечних методах хромування, експериментально доведено ефективність одержання якості поверхонь магніто-м'яких сплавів. Та доказано, що процес пароплазмової обробки можливо використовувати, як при підготовці поверхні під покриття, так і безпосередньо для нанесення покриття.

Ключові слова: активація поверхні, покриття, сплави, технологічний процес, пароплазмова обробка, хромування, полірування.

Постановка проблеми. Прецизійні деталі електроклапанів, виготовлені з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів повинні задовольняти вимогам експлуатації. Технологічне забезпечення виготовлення таких деталей з оптимальним сполученням основних фізико-механічних, магніто-фізичних, антикорозійних властивостей пов'язано з суттєвими складностями обумовленими комплексним сполученням характеристик, які часто бувають взаємовиключними [1].

Одним із самих розповсюджених та затребуваних процесів, що дозволяють вирішувати проблеми захисту поверхневого шару виробів є хромування [2]. Дослідження властивостей та структури електролітичного хромового покриття магніто-м'яких сплавів в традиційних ваннах хромування на основі шестивалентного хрому показали достатньо високу корозійну стійкість і добрі електромагнітні якості. Але відомо, що процес хромування на основі хромової кислоти, відноситься до вищого класу екологічної небезпеки, так як, в якості основних компонентів використовують високотоксичні сполуки шестивалентного хрому.

Тому проведення досліджень альтернативних безпечних технологій хромування для підвищення експлуатаційної надійності деталей з прецизійних магніто-м'яких залізо-хромових сплавів є актуальною задачею.

Основне завдання та одержані результати роботи. Метою дослідження є проведення експериментальних досліджень по підвищенню експлуатаційної надійності деталей електроклапанів з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів шляхом створення технологічних методів, які формують фізико-механічні, магніто-фізичні та корозійностійкі характеристики поверхневого шару деталей в умовах екологічної безпеки.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Підготовка вихідних даних для розробки технологій покриттів на основі аналізу літературних джерел та раніше проведених досліджень.
2. Розробка технологій активації поверхонь прецизійних магніто-м'яких сплавів перед нанесенням покриттів.
3. Розробка технологічних процесів покриття поверхонь зразків із прецизійних магніто-м'яких сплавів хромом в умовах екологічної безпеки.
4. Дослідження і розробка технології пароплазмової поліровки деталей з магніто-м'яких сплавів.

Серед процесів електролітичного осадження різноманітних металів і сплавів хромування займає особливе місце через низьку унікальних властивостей одержуваних покриттів і специфічні особливості хімії та електрохімії сполук хрому.

Низький коефіцієнт тертя покриттів на основі хрому та їх магнітні властивості, дозволяють застосувати їх при виготовленні деталей із магніто-м'яких залізо-хромових сплавів. Окрім того, слід особливо відзначити високу мікротвердість хромових гальваноосадів, ця величина суттєво перевищує притаманну іншим електроосадженим металам і сплавам на їх основі[2].

Слід підкреслити, що хромові електролітичні покриття у промисловості протягом багатьох десятиліть одержували і продовжують отримувати з електролітів на основі сполук шестивалентного хрому.

Добре відомо, що сполуки хрому у ступені окислення +6 є надзвичайно токсичними та шкідливими як для навколишнього середовища, так і для обслуговуючого персоналу. У наш час у зв'язку з підвищеною увагою до проблем охорони навколишнього середовища використання сполук Cr(VI) суворо обмежується у США, Європейському Союзі, Японії та інших промислово розвинутих країнах.

Саме тому розробка процесів хромування електролітів на основі солей Cr(III) як альтернативи екологічно небезпечним процесам, що передбачають використання сполук Cr(VI), є однією з основних задач сучасної гальванохімії [2, 5].

Умови електролізу та склад електроліту суттєво впливають на мікроструктуру електроосаджуваних хромових покриттів. Великий вміст вуглецю в осаджених хромових покриттях також призводить до зростання їх гідрофобності та зниження контактного опору.



Рис. 1. Морфологія поверхні «трьохвалентних» хромових покриттів, х400 – оксалатно-сульфатний електроліт хромування

Проведені дослідження альтернативної, безпечної технології хромування на основі солей трьох валентного хрому показали, що якість покриття Cr(III) товщиною 15-20мкм значно поступається стандартному покриттю Cr(VI) через велику кількість глобулярних утворень, поверхні покриттів мають грубий вигляд через неоднорідність осаду (рис. 1), що говорить про недосконалість існуючих технологій. У зв'язку з цим представляє інтерес дифузійне хромування, яке надає виробам опір ерозії, втоми, корозії, високі електромагнітні властивості [3]. Крім цього сприяє захисту навколишнього середовища (відсутність зливів шкідливих електролітів), а також здешевлює виробництво виробів. Для досягнення поставленої мети було досліджено пароплазмовий метод осадження хрому на поверхні магніто-м'яких залізо-хромових сплавів.

Експлуатаційні характеристики хромових покриттів, міцність покриття та його зчеплення з підкладкою у значній мірі залежать від підготовки поверхонь (мікрорельєфу, залишкових напружень, тощо) перед осадженням хрому. Були проаналізовані різні способи попередньої обробки поверхонь [4].

Зразки для досліджень виготовлялись у вигляді сталевих дисків з отвором під кріплення зі сплаву 16Х-ВН. Традиційно підготовка поверхонь під покриття виконується наступними методами: механічною обробкою, знежирюванням та травлінням. Але всі ці методи мають недоліки:

- традиційні механічні впливи на магніто-м'які сплави призводять до значних пластичних деформацій, або залишковим напругам, що погіршують властивості сплавів, покриттів;

- хімічні методи пов'язані з небезпечністю та екологічною шкідливістю.

Рахуючи вищезгадане виникає необхідність в розробці сучасного, екологічно небезпечного методу підготовки і активації поверхонь під покриття.

Одним з таких методів є струменево-абразивна обробка гранулами удароміцного сополімер стиролу [6].

В процесі дослідження, проведено порівняльний фракційний аналіз абразивного матеріалу для активації поверхні методом струменевої обробки.

Найбільша різнофракційність спостерігається в абразивному матеріалі сополімер стиролу КУ-2-8 (фракція 1,5мм) та складає 87,5% рисунок 2.



Рис. 2. Загальний вид досліджуваного сополімер стиролу КУ-2-8

Дослідження проводилися при наступних припущеннях: гранули удароміцного сополімеру стиролу мають однакову сферичну форму (рис. 2); жорсткі гранули, співвідношення розмірів реальних гранул і оброблюваної поверхні зразка дозволяють розглядати робочий зазор як плоский.

Однією з умов підготовки поверхні під покриття є зниження шорсткості поверхні, зміна якої може бути визначена як:

$$Ra_i(Z, V) = \sum_{j=1}^N r(Z, V) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де: N – кількість одиничних актів контактної взаємодії на елементарному майданчику; r – величина лунки після одиничного акту контактної взаємодії; Z – зернистість абразивної частинки; V – швидкість абразивного потоку.

Експериментально підтверджено, що застосування струменево-абразивного метода для підготовки поверхонь магніто-м'яких сплавів під покриття значно впливає на шорсткість поверхні, яка залежить від розмірів абразивних частинок. Зі збільшенням зернистості абразивного матеріалу висота мікронерівностей різко зростає, так як збільшуються розміри лунок, що залишаються на поверхні ламелей, які оброблювали абразивними частинками.

Морфологічний скан аналіз поверхні, що оброблені гранулами сополімер стиролу КУ-2-8 наведений на рисунку 3.

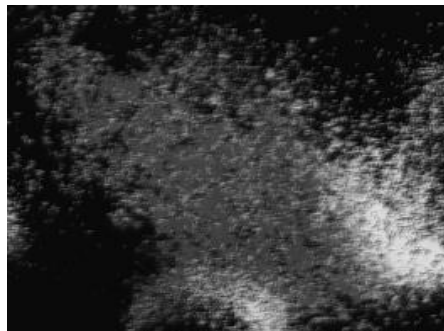


Рис. 3. Морфологічний скан аналіз поверхні обробленої удароміцними гранулами сополімер стиролу КУ-2-8 (фракція 1,5мм)

Експериментально визначено особливості формоутворення мікропрофілю поверхні в процесі струменево-абразивної підготовки під покриття. Доведено, що струменево-абразивна обробка дозволяє отримувати рівномірну шорсткість з $Ra < 0,12$.

Підтвердженням даного висновку служить 3D профілограма поверхні, яка оброблена гранулами сополімер стиролу (рис. 4).

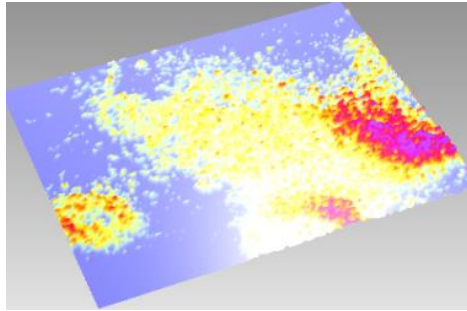


Рис. 4. 3D профілограма поверхні обробленої гранулами сополімер стиролу КУ-2-8

В процесі струменево-абразивної обробки поверхонь магніто-м'яких сплавів визначено особливості формоутворення мікропрофілю поверхонь. Взаємодія гранул сополімер стиролу з поверхнями, що обробляються призводить до утворення рівномірної шорсткості зняття окисних плівок і т.п. Все це підвищує адгезію нанесеного покриття з утвореною основою. Але недоліками цього методу при виконанні поставленої мети є те, що ударно-фракційна взаємодія гранул з оброблюваною поверхнею призводить хоч і к незначним, але ж таки концентраторам напружень та мікропластичним деформаціям поверхневих і при поверхневих шарів магніто-м'яких сплавів на глибину 100-150мкм і більше.

Зважаючи на то, що механічні впливи на ці сплави які приводять навіть до незначних пластичних деформацій, або залишковим напругам та погіршують властивості сплаву, треба завершувати операцію по підготовці поверхні під покриття проводити безконтактними методами.

При підготовці поверхні обирали методи, коли підкладка знаходиться в активному стані, як можливо більш тривалий час. В такій якості розроблена технологія пароплазмової активації поверхонь прецизійних магніто-м'яких сплавів перед покриттям. Такий спосіб дозволяє усунути дефектний поверхневий шар, поверхневих плівок та сторонніх включень, а також ретельне очищення поверхні від усіх видів забруднень та забезпечує одержання міцно зчеплених покриттів.

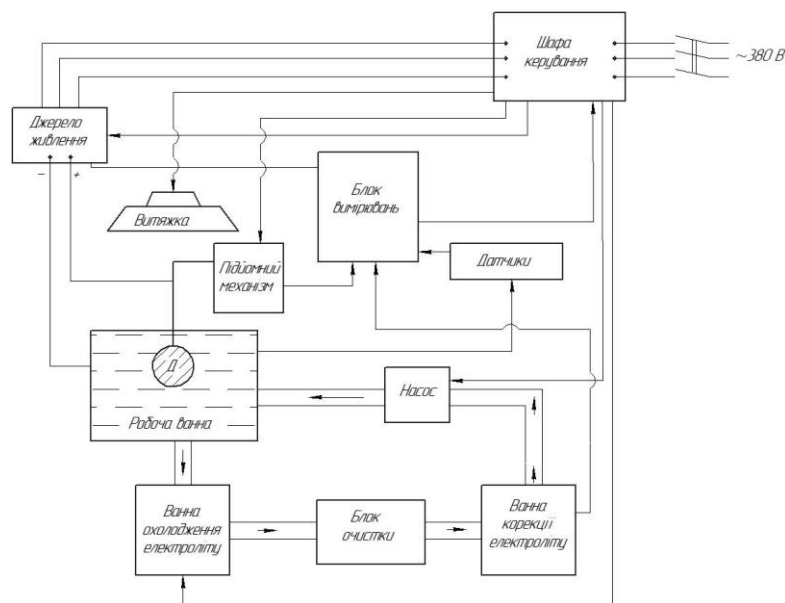


Рис. 5. Блок-схема установки для пароплазмового полірування виробів

Експериментальні дослідження проводились на дослідному устаткуванні кафедри технології машинобудування Українського державного університету науки і технологій.

Розроблена блок-схема установки для пароплазмового полірування представлена на рисунку 5.

В якості блока живлення використовувалось джерело повторного електропостачання ІВЕ-245-09 з без трансформаторним мережевим входом, працюючому на частоті перетворення 45-55кГц. Основні технічні данні блока живлення: потужність 600-6000Вт; напруга 100-1350В; струм 0,5-7,0А.

Експериментально визначено, що застосування метода паро плазмової підготовки поверхонь зразків з магніто-м'яких сплавів дозволило знизити початкову шорсткість (R_a 0,8-1,0) до потрібної (R_a 0,1-0,2), при цьому можлива обробка деталей складної форми.

У зв'язку з чим запропоноване комплексне пароплазмове оброблення, яке полягає в комбінуванні пароплазмової активації поверхонь під покриття ПАП, нанесення покриття пароплазмовим методом НПП, фінішна (полірування) пароплазмова обробка ФПО. Технологічний ланцюжок можливо уявити у вигляді блок-схеми (рис. 6).



Рис. 6. Блок-схема технологічного ланцюжка комплексної обробки

Вплив технологічних параметрів при ПАП та ФПО аналогічний, тому були проведені експериментальні дослідження по виявленню оптимальних значень: концентрації електроліту, напруги та часу обробки, результати яких наведені на рисунках 7, 8, 9.

В результаті проведених експериментів було виявлено оптимальні значення концентрації. Результати досліджень наведені на рисунку 7.

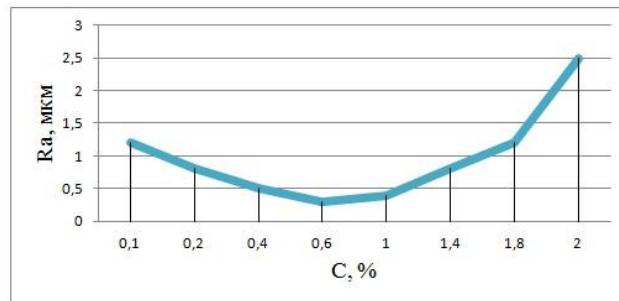


Рис. 7. Залежність шорсткості поверхні від концентрації електроліту

Робоча напруга є найважливішим параметром, що визначає якість полірованої поверхні. Не тільки з енергетичних, але і з технологічних міркувань збільшення напруги понад 350 В небажано, оскільки можливе попадання в область електрогідродинамічного режиму, коли відбувається зрив пароплазмової оболонки і електролітно-плазмова обробка неможлива. Графік залежності шорсткості поверхні від напруги наведено на рисунку 8.

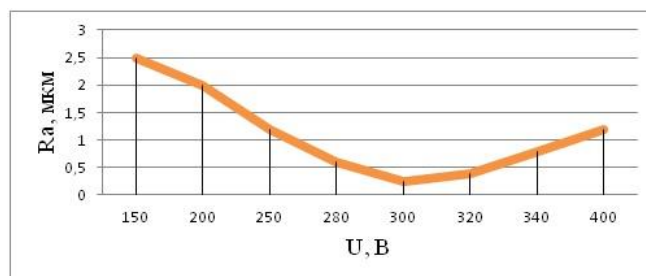


Рис. 8. Залежність шорсткості поверхні від напруги

Оптимальним значенням напруги є 300В, при ньому досягається найменша шорсткість експериментальних зразків і проходить електролітно-пароплазмова обробка.

Природно припустити, що якість полірування пропорційно її тривалості. Швидке зниження шорсткості за перші 15 секунд обробки пов'язано з тим, що проходить локальне вирівнювання мікрорельєфу у місцях найбільших виступів та впадин. Подальше збільшення тривалості обробки не дає такого істотного зміни шорсткості поверхні, а лише надає поверхні дзеркальний блиск (рис. 9).

При проведенні досліджень було виявлено оптимальний час обробки експериментального зразка - він склав 15 секунд. За цей час було отримано шорсткість поверхні $Ra=0.16$ мкм. Експериментальним шляхом було виявлено, що зі збільшенням часу обробки досягнута шорсткість не змінюється, але відбувається зняття матеріалу за поля допусків, тому обробка експериментального зразка довше 15 секунд є недоцільною.

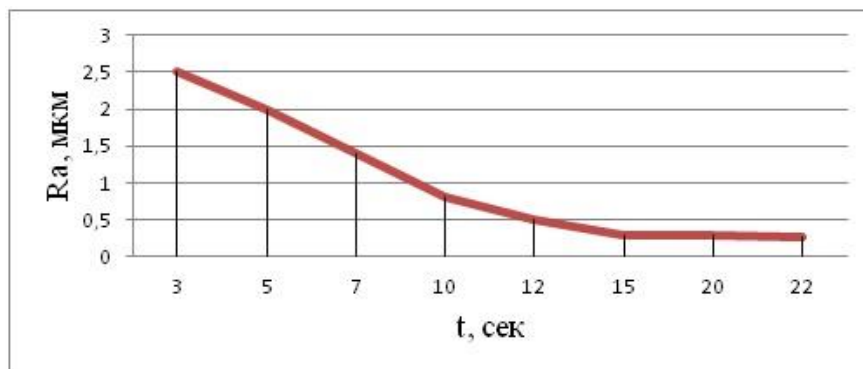


Рис. 9. Залежність шорсткості поверхні від часу обробки

Результати пароплазмової підготовки поверхні під покриття показали задовільні результати. Електроліт для формування плазми H^+ із за властивостей провідних електронів осадження не відбувається. Іон водню H^+ в плазмі дозволяє швидко провести очистку поверхонь від забруднення та активувати поверхню під покриття. Швидкість з якою виконується очистка та активація поверхні без контактної взаємодії, а також екологічна безпека навколишньої середовища роблять пароплазмову підготовку під покриття оптимальним технологічним процесом, який дозволяє практично повністю замінити відомі методи підготовки під покриття (рис. 10).

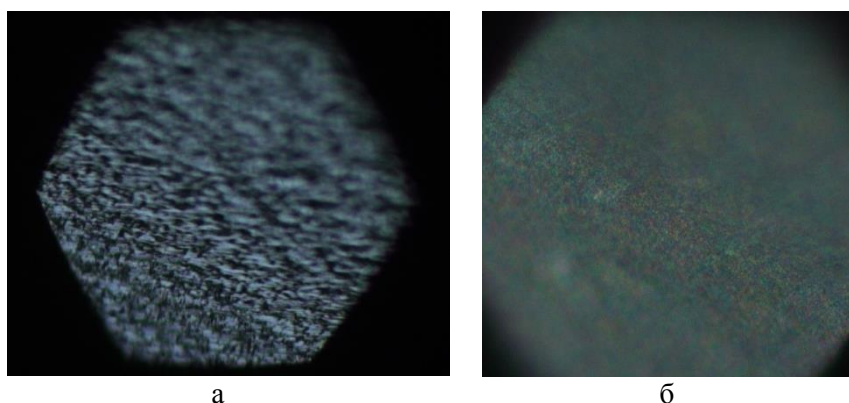


Рис. 10. Вид поверхні експериментального зразка x200: а – до обробки; б – після обробки

Осадження Cr на підготовлену поверхню зразка з магніто-м'якого сплаву 16Х-ВН проводилось оксалатно-сульфатним електролітом, який був нагрітий до температури $75^{\circ}C$, в інтервалі напруги 40-250В.

Найбільш оптимальний та стабільний процес паро плазмового нанесення покриття з хрому на магніто-м'які сплави проходить в інтервалі напруг 180-200В. Металографічні

дослідження виявили, що отримані покриття мають щільну структуру та неперервні по всій поверхні (рис. 11).



Рис. 11. Якість хромового покриття на магніто-м'яких сплавах

Висновок

1. В роботі наведено вирішення задачі, пов'язаної з підвищенням експлуатаційної надійності деталей електроклапанів рушійних установок з магніто-м'яких залізо-хромових сплавів шляхом створення технологічних методів, які сформували фізико-механічні, магніто-фізичні та корозійностійкі властивості поверхневого шару деталей в умовах екологічної безпеки.

2. На основі розробленого комплексного функціонально орієнтованого технологічного процесу, який засновано на сучасних методах підготовки та активації поверхонь під покриття, екологічно безпечних методах хромування експериментально доведено ефективність одержання якості поверхонь магніто-м'яких сплавів. Доказано, що процес пароплазмової обробки можливо використовувати, як при підготовці поверхні під покриття, так і безпосередньо для нанесення покриття.

3. Експериментально визначено можливості формоутворення мікропрофілю поверхні в процесі струменево-абразивної підготовки під покриття. Доведено, що струменево-абразивна обробка дозволяє отримувати рівномірну шорсткість поверхонь під покриття з $Ra < 0,12$ з незначними концентраторами напружень та з мікропластичною деформацією поверхневих шарів магніто-м'яких сплавів на глибину 100-150мкм та більше.

4. Використання технологічного ланцюжка ПАП-НПП-ФПО для підвищення працездатності деталей з магніто-м'яких сплавів дозволяє отримати високу якість хромового покриття екологічно безпечними технологіями.

5. Експериментальні результати досліджень запропоновано для випробувань на Державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне» імені М.К. Янгеля».

Інформаційні джерела

1. Шишков М.М. Марочник сталей і сплавів: Довідник. Вид 3-є, доповнене. Донецьк, 2000.- 456с.

2. Данилов Р.И., Проценко В.С. Электроосаждения хрома электролитів на основі сполук Cr (III): Огляд // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii* 2020, №. 2., pp. 4-29.

3. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. Металлургия, М., 1974.– 559 с.

4. Velychko O.G., Liu T., Abramov S.O., Marchuk I.V., Gryshin V.S. Technological features of the preparation of cluster thermal barrier coatings on copper surfaces of the converter lance tips // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, Dniepr. Ukrainian State University of Chemical Technology 2020, No. 3, pp. 53-58.

5. Погребняк А.Д., Каверина А.Ш., Калышканов М.К. Электролитно плазменная технология для нанесения покрытий обработки металлов и сплавов // *Физикохимия поверхности и защита метериалов*. 2014. Т.50, №1. С. 72-88.

6. Абрамов С.О. Обґрунтування абразивного матеріалу для активації поверхні мідної ламелі струменево-абразивним методом. *Наукові нотатки*. Луцьк. 2019. № 66. С. 10-17.

¹Абрамов С.А., ¹Гришин В.С., ²Долганюк Г.Н.

¹Український державний університет науки і технологій, г. Дніпро, Україна

²Спеціальний коледж ракетно-космічного машиностроєння Дніпровського національного університету, г. Дніпро, Україна

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИТНО-МЯГКИХ СПЛАВОВ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПАРОПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Повышение эксплуатационных характеристик деталей электроклапанов, движущих установок орбитальных спутников, а следовательно, их жизненного цикла возможно добиться применением различных технологий их поверхностной обработки, таких как нанесение специальных покрытий, модификация рабочих поверхностей деталей, а также подбор методов обработки для уменьшения остаточных напряжений. Специфика обрабатываемых деталей (коррозионная стойкость, магнитные свойства) требует разработки специальных методов покрытия. Была проведена подготовка исходных данных по разработке технологий покрытий на основе анализа литературных источников и ранее проведенных исследований.

Экспериментально проведена активация поверхности из магнитно-мягкого сплава под покрытие хромом с последующей полировкой. На основе разработанного комплексного технологического процесса, основанного на современных методах подготовки и активации поверхностей под покрытие, экологически безопасных методах хромирования, экспериментально доказана эффективность получения качества поверхностей магнитно-мягких сплавов. И доказано, что процесс пароплазменной обработки можно использовать как при подготовке поверхности под покрытие, так и непосредственно для нанесения покрытия.

Ключевые слова: активация поверхности, покрытие, сплавы, технологический процесс, пароплазменная обработка, хромирование, полировка.

¹Abramov S.O., ¹Grychin V.S., ²Dovganuk G.M.

¹ Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine

² Special College of Rocket and Space Engineering Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

INCREASING THE PERFORMANCE OF PARTS MADE OF MAGNETIC-SOFT ALLOYS BY INTEGRATED TECHNOLOGY OF STEAM PLASMA TREATMENT

Improving the operational characteristics of parts of electro valves, propulsion units of orbital satellites, and, consequently, their life cycle can be achieved by using various technologies for their surface treatment, such as applying special coatings, modifying the working surfaces of parts, as well as selecting processing methods to reduce residual stresses. The specificity of the processed parts (corrosion resistance, magnetic properties) requires the development of special coating methods. The preparation of initial data on the development of coating technologies was carried out on the basis of an analysis of literature sources and previous studies.

An experimentally carried out activation of a surface made of a soft magnetic alloy under chrome plating followed by polishing. On the basis of the developed complex technological process based on modern methods of preparation and activation of surfaces for coating, environmentally friendly methods of chromium plating, the efficiency of obtaining the quality of surfaces of soft magnetic alloys has been experimentally proved. And it has been proven that the process of vapor-plasma treatment can be used both in preparing the surface for coating, and directly for coating.

Key words: surface activation, coating, alloys, technological process, plasma vapor treatment, chromium plating, polishing.

УДК 631.356 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-2

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

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

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

Надійність очищення голівок коренеплодів цукрових буряків є одним із важливих факторів, що впливає на викопування, зберігання та переробку коренеплодів на цукор. Оскільки при наявності залишків гички та пошкоджень кореня погіршуються умови зберігання та збільшуються затрати на транспортування і втрати сировини під час зберігання та переробки. Тому слід застосовувати якісну технологію очистки та раціональні машини. При визначенні раціональної технології та застосування пристроїв для очищення коренів приведено опис нового технологічного процесу очищення коренеплодів методом очисних мітл. Розроблено конструкцію навісної трьох рядної коренезбиральної машини для фермерських господарств. Виведені аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів систем робочих органів машини.

Ключові слова: цукровий буряк, коренеплід, гичка, надійність, очищення, пошкодження.

Постановка проблеми. Один із основних резервів зростання виробництва цукрових буряків полягає в удосконаленні технології їх викопування і очищення. Збирання врожаю коренеплодів цукрових буряків є одним із найскладніших і енергоємних процесів, в тому числі й за кількістю операцій.

Питанням збирання і очищення коренеплодів присвячені роботи ряду вчених [1,2,3], однак цілий ряд питань, що стосується очищення коренеплодів малогабаритною технікою, залишається невирішеним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для покращення надійності збирання коренеплодів цукрових буряків проводиться прямим комбайнуванням при виконанні операцій очистки гички на корені та викопування коренеплодів однією машиною [5]. Проте, дослідження показують недобру якість очистки залишків гички на викопаних коренеплодах, причиною чого є недосконалість конструкцій та режимів роботи очисних пристроїв [4, 7]. Основні дослідження процесу очищення коренеплодів від залишків гички описані у працях проф. Вовк П.Ф., який опублікував статтю в якій викладені фізико- механічні агробіологічні властивості цукрових буряків (1936р.), 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., Тат'янка М.В., Погорілого Л.В., Денисенка І.І., Бурмістрової М.Ф., Зуєва М.М. створили перші початки на розвиток машин для збирання коренеплодів цукрових буряків. Певну увагу при дослідженні механізації збирання та вивчення фізико-механічних та біологічних властивостей коренеплодів цукрових буряків приділяли також і за кордоном. Одним із основних конструктивних питань розвитку машин є забезпечення конструкції машин для малих фермерських господарств, в той час як основні роботи над конструкціями коренезбиральних машин проводяться для забезпечення великих агрохолдингів. Тому дослідження в напрямку розвитку конструктивних параметрів малих сільськогосподарських машин є актуальними та своєчасними.

Мета досліджень. Розроблення надійних основ очищення коренеплодів очисними мітлами і виведення аналітичних залежностей для визначення конструктивних параметрів.

Результати досліджень. Нами спроектована навісна коренезбиральна машина для фермерських господарств, яка показана на рис.1.

Для роботи дана машина навішується на трактори тягового класу 1,4кН за допомогою навісної системи 13 машина коренезбиральна із відрегульованими опорно- копіювальними колесами 2 на величину заглиблення підрізного ножа із під'єднаним карданним привідним валом до вала відбору потужності трактора.

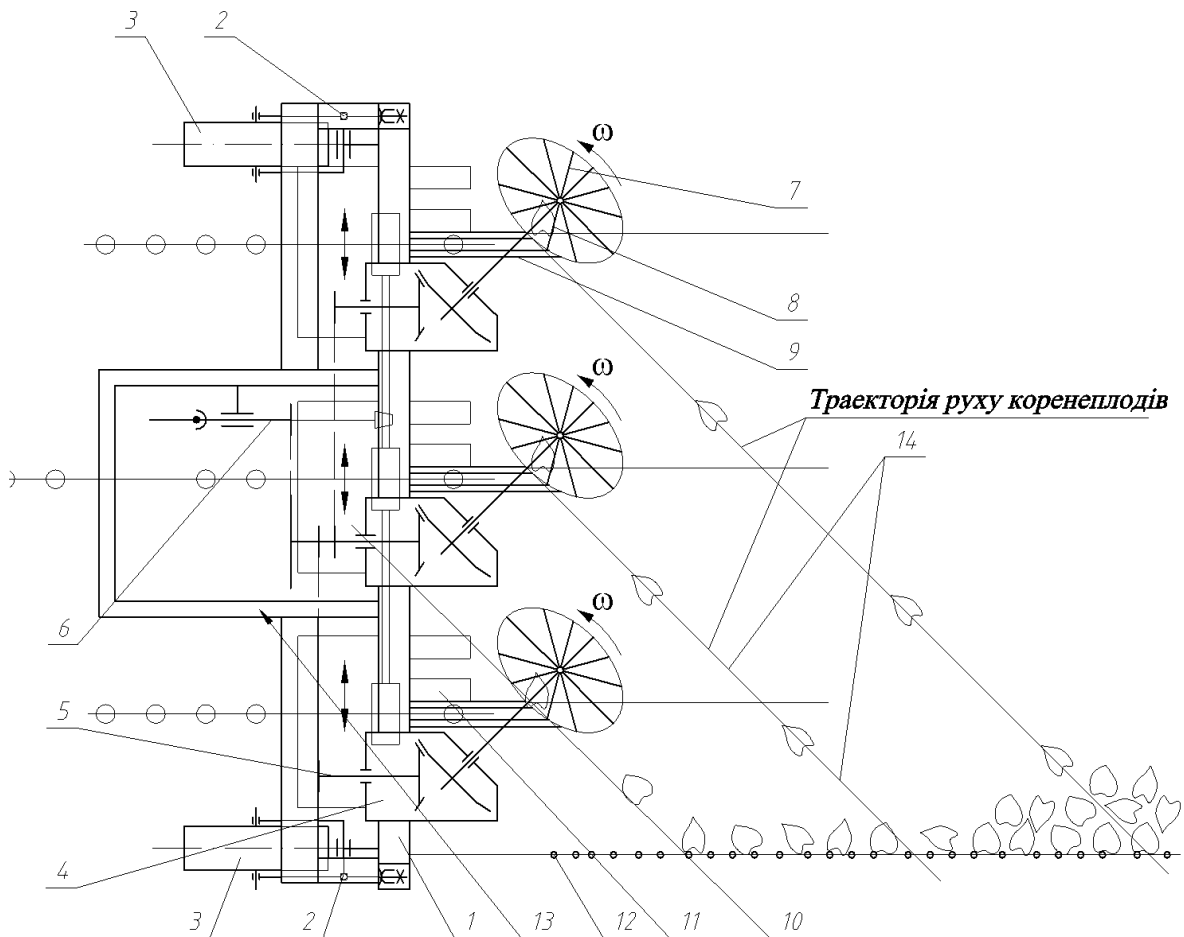


Рис.1. Навісна трьох рядна коренезбиральна машина для фермерських господарств
 1 – рама; 2 – важелі; 3 – опорні колеса; 4 – редуктори; 5 – привідні зірочки; 6 – вал відбору потужності від трактора; 7 – сепаруючі диски; 8 – спиці; 9 – привідні вали; 10 – викопуючі леміші; 11 – сепаруючі полиці; 12 – відбивний щиток; 13 – система навіски машини на трактор; 14 – коренеплоди.

Для зменшення зусилля викопування коренеплодів 14 і покращення умов сепарації до лемешів 10 з очисними полицями 11 піддані ексцентричні ролики (на кресленні не показані), які створюють вібрації під кутом до напрямку руху машини.

Робота коренезбиральної машини здійснюється наступним чином. В процесі викопування цукрових буряків відбувається підрізання пласту ґрунту під трьома рядками викопуючими лемешами 1 на необхідній глибині, а також його розламування при переході з передньої площини ножа, яка знаходиться під кутом γ_1 до горизонтальної площини на очисну полицю 2, яка знаходиться під кутом γ_2 до горизонтальної площини ($\gamma_1 > \gamma_2$).

Процес вибирання коренеплодів 3 з піднятого пласту ґрунту і скидання їх у валок проходить наступним чином. Крутний момент із валу відбору потужності трактора через карданну передачу передається на редуктор 8 і на привідні вали з ексцентричними роликами 10, які забезпечують коливний рух викопуючих лемешів 1, чим зменшують зусилля викопування і покращують якість сепарації.

При обертанні, сепаруючі диски 11 своїми спицями 128 подрібнюють ґрунт у пласті, який сепарується через їхні проміжки, а при контакті з коренеплодом 3 очищають їх від ґрунту і виносять з пласту, надаючи їм руху з швидкістю V_1 по траєкторії в напрямку до відбивного щитка. При переміщенні коренеплодів, від взаємного тертя і зіткнення з відбивним щитком проходить очищення їх поверхні від ґрунту і укладання в рядки.

Спроекована 3-х рядна машина для збирання цукрових буряків забезпечує працездатність конструкція, яка має малу метало і енергоємність, що дозволяє використовувати її при роботі у фермерських господарствах. Якість виконання технологічного процесу відповідає технічним умовам для бурякозбиральної техніки.

Технічна характеристика машини:

- продуктивність за / годину - 0,5 га;
- робоча швидкість 4-5 км/год.;
- маса машина - 660 кг;
- агрегується з тракторами тягового класу 1,4кН.

Розглянемо загальну схему ударів коренеплодів у відбивальний щиток. Під час динамічної взаємодії переміщення коренеплоду у відбивальний щиток буде описуватись системою рівнянь [1]

$$\begin{aligned} -M_k \ddot{x}_1 - M_k g + P &= 0; \\ -m_p \ddot{x}_2 - P + cx_2 + \beta \dot{x}_2 &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де x_1 та x_2 - переміщення, відповідно, центру коренеплоду і відбивального щитка при ударі, мм;

P - величина ударної контактної сили, Н.

Приведену координату відбивального щитка з метою спрощення доцільно прийняти в початковий момент удару $x_{20} = x_{10}$. Тоді згідно формули Герца

$$P = k(x_1 - x_2)^{3/2}. \quad (2)$$

У випадку удару в жорсткий щиток чи жорстку поверхню вальця $\ddot{x}_2 \rightarrow 0$. Тоді рівняння руху (1) та максимальна сила ударної взаємодії тіла з жорсткою поверхнею (нелінійна в'язко-пружна модель) згідно [1] описуються залежностями

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{k}{m} x^{3/2}; \\ P_{\max} &= k^{2/5} \left(\frac{5}{4} m V^2 \right)^{3/5}, \end{aligned} \quad (3)$$

де k - коефіцієнт, що враховує властивості тіл взаємодії. Для взаємодії сферичної поверхні коренеплода з відбивальним щитком

$$k = \frac{4}{3} \sqrt[4]{\frac{R_k^2 r_1^p r_2^p}{(R_k + r_1^p)(R_k + r_2^p)}} \left[\frac{1 - \mu_k^2}{E_k} + \frac{1 - \mu_p^2}{E_p} \right]^{-1}. \quad (4)$$

Із рівняння (3) обчисливши силу P можна вивести рівняння руху коренеплода

$$(M_k + m_p) \ddot{x} + M_k g + cx + \beta \dot{x} = 0, \quad (6)$$

де m_p - зведена маса частини рифу;

c - зведена жорсткість прутка транспортера і коренеплоду у місці контакту.

Прийнявши $M_k + m_p = M$ та нехтуючи силою ваги масмо

$$M \ddot{x} + \beta \dot{x} + cx = 0. \quad (7)$$

Тобто при виконанні умови $x_1 \gg x_1 - x_2$ рівняння руху коренеплоду при ударному зближенні в першому наближенні може бути описане відомим рівнянням коливного руху (на конкретно визначеному інтервалі руху) тіла із масою $M = M_k + m_p$.

Із рівняння (7) визначаємо зусилля, які виникають під час удару коренеплода об відбивальний щиток за формулою

$$F_1 = cx + \beta \dot{x} = \sqrt{\frac{2Mgh}{c - \frac{\beta^2}{4M}}} [(c + \beta r) \sin \gamma + \beta \gamma \cos \gamma] e^{rt}, \quad (8)$$

де $r = -\frac{\beta}{2M}$; $\gamma = \frac{\sqrt{4Mc - \beta^2}}{2M}$.

Перша стадія удару завершиться, коли настане умова

$$F_1 > P_p, \quad (9)$$

тобто зусилля перевищить границю пластичності. Решта енергії удару перетвориться на енергію пластичного деформування.

Аналіз залежності (8) свідчить, що сила удару зростатиме від збільшення маси тіла, висоти падіння та жорсткості відбивального щитка, що очевидно. Якщо вказана вище нерівність не виконується, це означатиме, що пластичне деформування ґрунту не відбулося і процес струшування практично не почався. Отже, подача вороху з малої висоти на м'яку поверхню не сприяє процесу очистки ґрунту за рахунок пластичного деформування. Хоча очистка за рахунок вібрації машини і очисних органів та взаємного впливу коренеплодів може мати місце.

Висновки. Розроблена конструкція навісної 3-х рядної коренезбиральної машини для фермерських господарств теоретично показує добрі результати. Виведені аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів систем робочих органів машини.

Інформаційні джерела

1. Левенделла Э.Э. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти томах. М.: Машиностроение. 1989. 420с.
2. Погорельый Л.В., Татьянаенко Н.В. Свеклоуборочные машины (Конструирование и расчет) и др. К.: Техника, 1983. 168с.
3. Погорельый Л.В., Татьянаенко Н.В., Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. – К.: Феникс, 2004. 232 с.
4. Козіброда Я.І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків. Тернопіль: Збруч, 1996. 91 с.
5. Мартиненко В. Я. Гичкозбиральні машини. Тернопіль: Поліграфіст, 1997. 110 с.
6. Погорілий М.Л. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки. Техніка АПК, 2000. № 1. С. 14-18.
7. Мартиненко В.Я., Фенканін В.П. Аналіз результатів дослідження зрізування гички пасивним підпружиненим ножом. Вісник ХДТУСГ. Вип. 29. «Механізація сільськогосподарського виробництва», Харків, 2004. С. 206 – 210.
8. Кушпель Р.А. Розроблення апарата для одночасного зрізування гички та очищення головок коренеплодів. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. статей. Вип. 14. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2006. 306 с.
9. Погорельый Л.В., Брей В.В. Сравнительный анализ и тенденции развития свеклоуборочных машин. Тракторы и сельхозмашины, 1975. №10. С. 21-24.
10. Рибак Т.І., Цьонь О.П. Огляд гичковидалаючих апаратів бурякозбиральних машин та шляхи їх вдосконалення. Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка, технічні науки. Вип. 134. «Технічний сервіс машин для рослинництва». Харків, 2013, С.203-207.

Білик С.Г., к.т.н., Диня В.І. к.т.н.

Отделенное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Бережанський агротехнічний інститут"

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИЩЕНИЯ КОРЕНЕПЛОДОВ

Надежность очищения головок корнеплодов сахарной свеклы является одним из важных факторов, влияющих на выкапывание, хранение и переработку корнеплодов в сахар. Поскольку при

наличии остатков ботвы и повреждения корня ухудшаются условия хранения и увеличиваются затраты на транспортировку и потери сырья при хранении и переработке. Поэтому следует использовать качественную технологию очистки и рациональные машины. При определении рациональной технологии и применения устройств для очищения корней приведено описание нового технологического процесса очищения корнеплодов методом очистных метл. Разработана конструкция навесной трех рядной корнеуборочной машины для фермерских хозяйств. Выведены аналитические зависимости для определения силовых и конструктивных параметров систем рабочих органов машины.

Ключевые слова: сахарная свекла, корнеплод, ботва, надежность, очищение, повреждение.

S. Biluk Ph. D., V. Dynia Ph. D.

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

ENSURING THE RELIABILITY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ROOT CLEANING

The reliability of cleaning the heads of sugar beet roots is one of the important factors influencing the digging, storage and processing of roots into sugar. Because in the presence of remnants of the bud and root damage, storage conditions deteriorate and increase the cost of transportation and loss of raw materials during storage and processing. Therefore, high-quality cleaning technology and efficient machines should be used. In determining the rational technology and application of devices for cleaning roots, a description of a new technological process of cleaning roots by cleaning brooms is given. The design of a mounted three-row root harvester for farms has been developed. Analytical dependences for determination of power and constructive parameters of systems of working bodies of the car are deduced.

Key words: sugar beet, root crop, bud, reliability, cleaning, damage.

УДК 681.2; 541.13; 621.35; 614.71 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-3

Богомолів М.Ф.¹, Троць А.А.², Симолюк В.П.³

¹Національний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

³Луцький національний технічний університет

АВТОНОМНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ НА ВОДІ

В даній статті розглянуто результати наукових пошуків та досліджень з питань отримання самодостатнього джерела електричної енергії при здійсненні високотемпературного електролізу водяної пари та її взаємодії із атмосферою. Так, побічними продуктами процесу є спонтанне виділення в навколишнє середовище молекулярного кисню і водню. Цей процес відбувається за рахунок різниці концентрацій кисню і водню в парах води та вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є можливим і достатнім для потреб живлення електричних пристроїв різного ступеня складності.

Дуже важливим при створенні енергетично позитивних генераторів є те, що в процесі їх функціонування можна отримувати додаткові об'єми концентрованої кисню і водню. Враховуючи необхідність у збільшенні потреби запасів кисню в медичних закладах, пов'язаних із захворюваністю населення на Ковід-19, а також потреб водню як палива, цей фактор заслуговує на особливу увагу.

Ключові слова: паливний елемент; електролізер; оборотний осередок електролізу і паливних елементів; камера спалювання, медичний кисень, водень, електрохімічний пристрій, хімічне джерело струму, низькотемпературний електроліз води.

Постановка проблеми. Останнім часом дуже гостро постала проблема альтернативних джерел палива. Причиною цього слугувала сукупність факторів:

1. Підвищене використання нафти в промисловості, що призвело до сильного зменшення її запасів.
2. Погіршення екології внаслідок спалювання гігантських кількостей різноманітних видів палива. Це суттєво підвищило кількість викидів окису і двоокису вуглецю.
3. Збільшення кількості фабрик, заводів та підприємств.
4. Вирубування лісів у великих кількостях.

Ці всі фактори зумовлюють активний пошук альтернатив у енергетиці.

Перспективною альтернативою двигунам внутрішнього згорання є електричні двигун. Вони компактні, економічні, простіші за конструкцією і у них дуже високий ККД. Але постає питання накопичення та збереження енергії. Очевидним варіантом є акумулятори, але на даний момент вони далекі від ідеалу. Зокрема самі поширені з них – літій-іонні мають низку проблем:

1. Низька щільність енергії.
2. Погана робота і зменшення ємності в умовах низьких температур.
3. Відносно швидка втрата ємності.
4. Великий термін заряджання.

Але існує вигідна альтернатива – паливні елементи. Паливний елемент – електрохімічний пристрій, який перетворює енергію хімічної реакції в електричну, при цьому реагенти подаються у нього зовні.

Паливні елементи екологічні і не потребують тривалої зарядки, а можуть бути просто швидко заправлені. Їх ККД доволі високий і може сягати 80%, вони надійні і не містять великої кількості елементів.

Дуже затребуваними на даний час є результати наукових пошуків та досліджень з питань отримання самодостатнього джерела електричної енергії при здійсненні високотемпературного електролізу водяної пари та її взаємодії із атмосферою. Як відомо, при цьому побічними продуктами процесу є спонтанне виділення в навколишнє середовище молекулярного кисню і водню. Цей процес відбувається за рахунок різниці концентрацій кисню і водню в парах води та вмісту цих компонентів у повітрі. Електрохімічний процес отримання електричного струму при цьому є можливим і достатнім для потреб живлення електричних пристроїв різного ступеня складності.

Дуже важливим при створенні енергетично позитивних генераторів є те, що в процесі їх функціонування можна отримувати додаткові об'єми концентрованого кисню і водню. Враховуючи необхідність у збільшенні потреби запасів кисню в медичних закладах, пов'язаних із захворюваністю населення на Ковід-19, а також потреб водню як палива, цей фактор заслуговує на особливу увагу.

Аналіз останніх досліджень. У світовій практиці електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги та зменшення розміру системи [7] і, в якійсь мірі, її вартості.

Для цієї мети можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди [8], так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів [7].

Слід підкреслити, що, хоча каталітична активність платини і металів платинової групи в системах з ТПЕ достатня для їх використання як для виділення водню і кисню в процесі електролізу, але для окислення та відновлення в процесі генерації струму в паливному елементі, виникає низка проблем [1, 7, 8], в тому числі водного «менеджменту», обумовленого гідрофобно-гідрофільними характеристиками електродів [7].

Дослідження можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів, а саме, електролізер-паливного елемента самодостатнього замкненого циклу з характеристиками електричної напруги і електричного струму, придатних для живлення широкого спектру пристроїв, лягли в основу даної роботи.

Викладення основного матеріалу.

Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Вони здійснюють пряме перетворення енергії палива в електрику минаючи малоефективні, що йдуть з великими втратами, процеси горіння. Це електрохімічний пристрій високоефективного «холодного» горіння палива для безпосереднього вироблення електроенергії.

Електрична енергія, що виробляється такими пристроями є екологічно чистою і по своїх електричних характеристиках задовольняє вимогам, що висуваються до джерел живлення [9, 10, 11, 12, 14].

Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм.

Енергія при електролізі витрачається на підвищення енергії Гіббса системи в процесі утворення цільових продуктів і частково розсіюється у вигляді теплоти при подоланні опорів в електролізері та інших ділянках електричного кола. Досліджуючи продукти, що виділяються в електроді, при електролізі кислот, основ і солей, встановили, що у катодів завжди виділяються метали та водень, а у анода кислотні залишки або гідроксильні групи [1, 2, 8, 9, 15, 16, 17, 18], які потім піддаються подальшим змінам.

Розглянемо більш детально процеси, що протікають при електролізі. Відомо, що існують провідники першого роду, де електрика переноситься за допомогою електронів, і провідники другого роду, коли електрика переноситься іонами. Електрони вступають у взаємодію з іонами в місцях електричного ланцюга, де провідник першого роду межує з провідником другого роду [1, 2, 8, 9, 17, 18]. Таким чином, відбуваються електрохімічні процеси.

Електрохімічні процеси, що протікають у електродах при електролізі, перш за все, будуть залежні від співвідношення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. З кількох можливих процесів буде протікати той, здійснення якого пов'язане з мінімальною втратою енергії [9]. Якщо балон з чистим киснем з'єднати через кисневу твердо електролітну систему (SEO₂) з балоном H₂O (пара), то виникне потенціал згідно рівнянню Нернста [9]:

$$E_{O_2} = kT \ln \frac{100\%_{O_2}}{30\%_{O_2}}, \quad (1)$$

із зарядом на клеммах (рис.1).

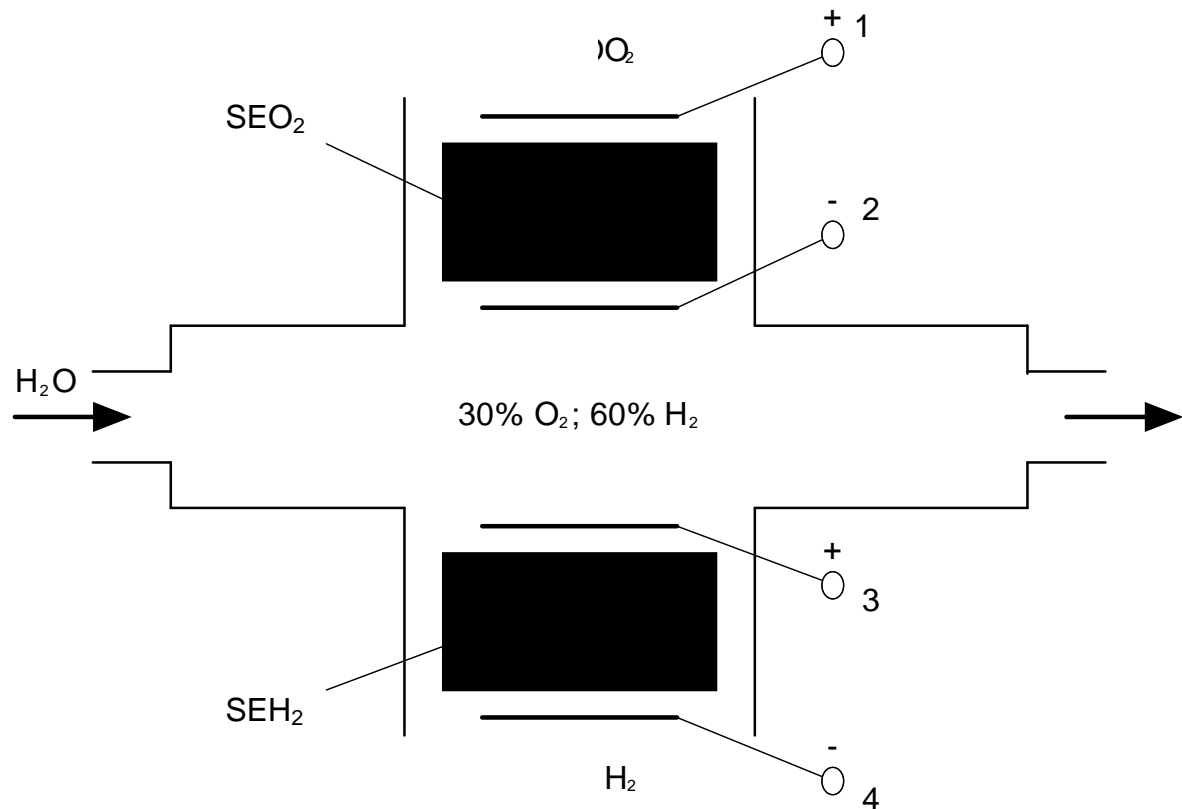


Рис. 1. Схема паливного елемента.

З іншої сторони, з'єднуємо балон чистого водню через твердо електrolітну водневу систему (SEH_2) з балоном того ж H_2O (пара), то отримаємо потенціал згідно рівнянню Нернста:

$$E_{H_2} = kT \ln \frac{100\%_{H_2}}{60\%_{H_2}}. \quad (2)$$

Потенціали EO_2 і EH_2 - різнополюсні. При підключенні клеми 1 до клеми 4, а клеми 2 до клеми 3, електричне коло замкнеться зі сталим струмом. При цьому із балонів водню і кисню буде відкачуватись, відповідно, водень і кисень в середовище водяної пари.

Якщо схему (рис. 1) з'єднати з повітрям, то через SEO_2 із середовища водяної пари в повітря буде відкачуватись кисень, а через систему SEH_2 в повітря буде відкачуватись водень. При цьому відповідні розрахунки потенціалів електродів мають вигляд:

$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (3)$$

При використанні в якості твердого полімерного електrolіту (SPE) мембрани MF-4SK і електродів по спеціальній технології, суттєво підвищуються вольт-амперні характеристики паливного елемента і суттєво знижується робоча температура. При цьому технологія виготовлення блоку паливного елемента (електrolізер – паливний елемент) стає посекційною з простою системою складання.

Протонно провідні мембрани дозволяють реалізувати процес електrolізу води в низькотемпературному режимі. Блок відкачування водню з води при цьому можна використати як окремий пристрій.

Згідно рівняння Нернста на електродах водневого елемента виникає electromotive force:

$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (4)$$

де, E - напруга Нернста; ϕ_1, ϕ_2 - потенціали електродів 1 і 2; R - газова стала; T - температура; n - кількість електронів, що йде на іонізацію однієї молекули; F - постійна Фарадея; C_1, C_2 - концентрації вимірювального газу, відповідно, на 1 і 2 електродах.

Результат. Після відповідних інженерних розрахунків (в даній роботі не наведені), та з метою проведення експерименту і практичного використання результатів досліджень, була розроблена схема та створені дослідні зразки пристрою низькотемпературного електрохімічного джерела живлення малої потужності, які показали позитивні результати, що належним чином співпадають з теоретичними розрахунками (рис.2).



Рис. 2. Дослідний зразок блоку джерела живлення

Висновки. Паливні елементи відносяться до хімічних джерел струму. Це електрохімічний пристрій в результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію. Електроліз відбувається за рахунок енергії постійного струму, що підводиться, і енергії, що виділяється при хімічних перетвореннях на електроді. Таким чином, електроліз здатний протікати тільки в середовищах, які проводять електричний струм. В роботі досліджені можливості створення високоефективного оборотного осередку на базі наявних технологій електролізу і паливних елементів. Розроблені конструктивні рішення електролізерів-генераторів. Робота направлена на створення нових джерел живлення на базі воднево-кисневої паливної суміші.

Перевагами розроблених пристроїв є простота конструкції, відсутність механічних рухомих деталей, вузлів та елементів, простота при експлуатації та технічному обслуговуванні, відносно невеликі розміри і вага, висока надійність та значний ресурс роботи.

Практично, такі пристрої можуть використовуватись у якості автономних джерел електричного живлення, джерел отримання екологічно чистого молекулярного кисню, водню. Їх застосування може бути пов'язане із такими сферами вжитку, як медична техніка та невідкладна медична допомога, прилади і пристрої, що працюють у вакуумі, радіаційному опроміненні, електронна промисловість, екологія, туризм.

На даний час електролізери і паливні елементи з твердим полімерним електролітом (ТПЕ) вважаються найбільш перспективними для створення оборотного осередку, працюючого як в режимі електролізера, так і паливного елемента. Це обумовлено низькою інерційністю, високим ККД, питомою потужністю і екологічністю процесу. Оборотний осередок привабливий можливістю зниження ваги й зменшення розміру системи і, в якійсь мірі, її вартості.

Для цієї цілі можуть бути використані як хімічно оборотні кисневі і водневі електроди, так і електроди, які не змінюють своєї окисної або відновлювальної функції при перемиканні режимів.

Протоннопровідні мембрани дозволяють реалізувати процес електролізу води в низькотемпературному режимі. Блоки відкачування водню та кисню з води, при цьому, можна використовувати як окремі пристрої.

Інформаційні джерела

1. Ahn J., Ledjeff K. Patent Hermanyu № P4027655.4, 1990.
2. Heinzl, A, Mahlendorf, F, Derieth, T, Bandlamudi, G, Beckhaus, P, and Kreuz, C. Development of highly filled graphite compounds as bipolar plate material for low and high temperature PEM fuel cells. Canada: N. p., 2006. Web.
3. Mahlendorf F., Meyer T., Heinzl A. Application of Stabilized Lithium Metal Powder (SLMP ®) in Silicon Anodes for Advanced Lithium-Sulfur Batteries. ECS Meeting Abstracts. DOI:10.1149/MA2020-022405mtgabs.
4. P. Podleschny, U. Rost, R. Muntean, G. Marginean, A. Heinzl, V. Peinecke, I. Radev, M. Muhler, M. Brodmann, Investigation of Carbon Nanofiber-supported Electrocatalysts with Ultra-low Platinum Loading for the Use in PEM Fuel Cells. Wiley Online Library. First published: 27 September 2018. <https://doi.org/10.1002/fuce.201700220>
5. Jalalpoor, D. ; Göhl, D. ; Paciok, P.* ; Heggen, M.* ; Knossalla, J. ; Radev, I. ; Peinecke, V. ; Weidenthaler, C. ; Mayrhofer, K. J. J. (Corresponding author)* ; Ledendecker, M. ; Schüth, F. The Impact of Antimony on the Performance of Antimony Doped Tin Oxide Supported Platinum for the Oxygen Reduction Reaction. IOP Publishing Bristol. Journal of the Electrochemical Society 168(2), 024502- (2021) [10.1149/1945-7111/abd830]. <http://hdl.handle.net/2128/28110> doi: 10.1149/1945-7111/abd830.
6. Hong Nhan Nong, Tobias Reier, Hyung-Suk Oh, Manuel Gliech, Paul Paciok, Thu Ha Thi Vu, Detre Teschner, Marc Heggen, Valeri Petkov, Robert Schlögl, Travis Jones & Peter Strasser. A unique oxygen ligand environment facilitates water oxidation in hole-doped IrNiOx core-shell electrocatalysts. Nature Catalysis. 2018-10-08. Journal-article. DOI: 10.1038/s41929-018-0153-y. Part of ISSN: 2520-1158.
7. Mahlendorf F., Peinecke V., HEINZEL a., Ledjeff R. // Hroc. of 18th Int. Power Sources Symp. Strafford-upon-Avon.: Leaterheard. 1993. P. 273.
8. Katalytycheskye sloj dlya obratnoy yachecky elektrolyzer-toplyvnyy element na osnove tverdoho polymernoho elektrolyta. . M.A. Tsyркун, E.K. Lyutykova, V.N. Fateev, V.D. Rusanov. Elektrokhymyya 2000, tom. 36. № 5. s. 613-616.
9. Chebotyn V.N., Perfyl'ev M.V. Elektrokhymyya tverdykh elektrolytov. – M.: Khymyya, 1978 – 312 s.
10. Mikaela Görlin, Petko Chernev, Paul Paciok, Cheuk-Wai Tai, Jorge Ferreira de Araújo, Tobias Reier, Marc Heggen, Rafal Dunin-Borkowski, Peter Strasser and Holger Dau. Formation of Unexpectedly Active Ni-Fe Oxygen Evolution Electrocatalysts by Physically Mixing Ni and Fe Oxyhydroxides. Chemical Communications. 2018. Journal-article. DOI: 10.1039/c8cc06410e. Part of ISSN: 1359-7345.
11. Paul Paciok, Maximilian Schalenbach, Marcelo Carmo, Detlef Stolten. On the mobility of carbon-supported platinum nanoparticles towards unveiling cathode degradation in water electrolysis.

Journal of Power. Sources. 2017. journal-article. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.07.033. EID: 2-s2.0-85027997211.

12. Fateev V.N., Frydman A.A., Baranov Y.E. / *Электрохимия*. 1994. Т. 30. S. 1256.

13. Fateev V., Pachlova E., Baranov I. et al. / Proc.of the 11-th World Hydrogen Energy Conference, Stuttgart: Schon and Wetzel, 1996. V. 3. P. 2727.

14. Elektrokhimichnyy elektrolizer vodyanoyi pary yak al'ternatyvne dzhereło zhyvlennya. Trots A.A., Skitsyuk V.I. / *Visnyk NTUU «KPI»*. Seriya prykladobuduvannya. – 2013. Vyp. 46 – S. 170 – 176.

15. M.F. Bogomolov, A.A. Trots, V.L. Goncharuk. Development of ecological source power supply for radio electronic devices. Measuring and computing devices in technological processes № 3' 2015. ISSN 2219-9365. 174-179 S.

16. Marcus D. Pohl, Sandra Haschke, Daniel Göhl, Olga Kasian, Julien Bachmann, Karl J. J. Mayrhofer and Ioannis Katsounaros. Extension of the Rotating Disk Electrode Method to Thin Samples of Non-Disk Shape. *Journal of The Electrochemical Society*. 2019-10. journal-article. DOI: 10.1149/2.0951914jes. Part of ISSN: 0013-4651.

17. Daniel Göhl, Aaron Garg, Paul Paciok, Karl J. J. Mayrhofer, Marc Heggen, Yang Shao-Horn, Rafal E. Dunin-Borkowski, Yuriy Román-Leshkov & Marc Ledendecker. Engineering stable electrocatalysts by synergistic stabilization between carbide cores and Pt shells. *Nature Materials*. 2019. journal-article. DOI: 10.1038/s41563-019-0555-5. Part of ISSN: 1476-1122.

18. Barat S, Giehl C, Kohsakowski S, Peinecke V, Schäffler M, Segets D. On the State and Stability of Fuel Cell Catalyst Inks. Preprint from ChemRxiv, 09 Jun 2021. DOI: 10.26434/chemrxiv.13125401. v4.

Богомолів М.Ф.¹, Троць А.А.², Симолюк В.П.³

¹Национальний технічний університет України «КПІ» ім. Ігоря Сикорського

²Национальний університет біоресурсів і природопотреблення України

³Луцький національний технічний університет

АВТОНОМНИЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ НА ВОДЕ

В данной статье рассмотрены результаты научных изысканий и исследований по вопросам получения самодостаточного источника электрической энергии при осуществлении высокотемпературного электролиза водяного пара и его взаимодействия с атмосферой. Так, побочными продуктами процесса является спонтанное выделение в окружающую среду молекулярного кислорода и водорода. Этот процесс происходит за счет разности концентраций кислорода и водорода в парах воды и содержания этих компонентов в воздухе. Электрохимический процесс получения электрического тока при этом возможен и достаточен для нужд питания электрических устройств разной степени сложности.

Очень важно при создании энергетически положительных генераторов то, что в процессе их функционирования можно получать дополнительные объемы концентрированного кислорода и водорода. Учитывая необходимость в увеличении потребности запасов кислорода в медицинских учреждениях, связанных с заболеваемостью населения Ковид-19, а также потребностей водорода как топлива, этот фактор заслуживает особого внимания.

Ключевые слова: топливный элемент; электролизер; обратная ячейка электролиза и топливных элементов; камера сжигания, медицинский кислород, водород, электрохимическое устройство, химический источник тока, низкотемпературный электролиз воды.

Mykola Bogomolov¹, Adam Trots², Volodymyr Symoniuk³

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

³Lutsk National Technical Universit

AUTONOMOUS POWER SOURCE

This article considers the results of scientific research and studies on obtaining a self-sufficient source of electricity in the implementation of high-temperature electrolysis of water vapor and its interaction with the atmosphere. Thus, the by-products of the process are the spontaneous release into

the environment of molecular oxygen and hydrogen. This process is due to the difference between the concentrations of oxygen and hydrogen in water vapor and the content of these components in the air. The electrochemical process of obtaining electric current is possible and sufficient for the power supply of electrical devices of varying complexity.

It is very important when creating energy-positive generators that in the process of their operation it is possible to obtain additional volumes of concentrated oxygen and hydrogen. Given the need to increase the need for oxygen supplies in medical facilities related to the incidence of Kovid-19, as well as the needs of hydrogen as a fuel, this factor deserves special attention.

Keywords: *fuel cell; electrolyzer; reversible cell of electrolysis and fuel cells; combustion chamber, medical oxygen, hydrogen, electrochemical device, chemical current source, low-temperature electrolysis of water.*

УДК 681.5 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-4

¹Вакуленко Д.В., д.б.н., ²Гевко О.В., к.м.н., ³Вакуленко Л.О., к.м.н., ²Кіфер В.М.¹Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя³Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ У СТВОРЕННІ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПАЦІЄНТА

Проведено аналіз вивчення аудіовізуального впливу відеофрагментів «дзюрчання води» на стан варіабельності серцевого ритму. Досліджено кореляційний зв'язок між ступенем тривожності і змінами часових та спектральних характеристик артеріальної осцилограми. Теоретично обґрунтовано доцільність моніторингу психологічного стану за вище наведеними параметрами артеріальної осцилограми. У дослідженні підтверджено психокорегуючий аудіовізуальний вплив. Визначено параметри впливу «дзюрчання води» на часові і спектральні характеристики артеріальних осцилограм з перспективою застосування мультимедійної симуляції «дзюрчанням води» у системах віртуальної реальності. Досліджено, що при часовому аналізі в центральному контурі посилилась симпатична ланка вегетативної нервової системи, на противагу в судинному контурі – баланс зсунувся в сторону парасимпатичної нервової системи. При аналізі спектральних характеристик артеріальної осцилограми, після перегляду відеокомпозиції «дзюрчання води» також достовірно знизився вплив симпатичної ланки вегетативної нервової системи на стан судин, що проявилось зниженням відсотку ULF та VLF у загальному спектрі частот та зростанням HF.

Отримані результати створюють можливість застосовувати їх з метою превентивної реабілітації, діагностики та розробки систем віртуальної реальності зі зворотнім зв'язком, яка буде включати проведення артеріальної осцилографії паралельно з аудіовізуальною симуляцією. Дана автоматизована система передбачатиме блок для відбору артеріальної осцилограми, блок обробки даних та блок для аудіовізуального впливу «дзюрчанням води». Дані дослідження спонукають до більш детального вивчення впливу мультимедійної симуляції на психоемоційний стан, стан вегетативної нервової системи.

Ключові слова: системи віртуальної реальності, психологічна реабілітація, варіабельність серцевого ритму, артеріальна осцилограма.

Вступ та постановка проблеми. Сучасний ритм життя, психологічні наслідки пандемії COVID-19, соціальні та економічні зміни сприяють зростанню рівня тривожно-депресивних розладів, психоемоційного напруження, психологічної дезадаптації, зниженню стресостійкості. В тому числі, зростає поширеність даних проблем серед студентів [9]. Своєчасна діагностика рівня тривожності та його психотерапевтична корекція є важливою проблематикою в умовах сьогодення.

Оцінка варіабельності серцевого ритму дозволяє визначити стан вегетативної нервової системи (ВНС) [1, 2]. Адже варіабельність серцевого ритму характеризує мінливість часових інтервалів між скороченнями серця, відповідно її аналіз відображає стан регуляторних механізмів і їхню стійкість до впливу фізичних та психоемоційних чинників [1, 2]. Тому дана методика слугує індикатором психоемоційної дезадаптації і її використовують для експрес-діагностики функціонального стану організму. Підвищення активності парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи вважається маркером стресостійкості. В останні роки науковців зацікавила артеріальна осцилографія у якості перспективного простого і високоінформативного методу для оцінки варіабельності і якості адаптації. Автором Вакуленком Д. [16], розроблена програма для використання показників електрокардіосигналу, при аналізі пульсових коливань периферійних судин на артеріальних осцилограмах, зареєстрованих під час вимірювання артеріального тиску. Оскільки амплітуда пульсової хвилі є пропорційною до просвіту судини, то застосування даного методу дозволяє оцінити периферичний кровоплин. Провівши математичний аналіз осцилограм, з використанням часового та спектрального методів, можна оцінити співвідношення між симпатичною і парасимпатичною ланками вегетативної нервової системи і відповідно їхню роль у судинному тонусі [3, 4]. Окремі дослідники проводять чітку асоціацію між нейропсихологічним статусом і характеристиками варіабельності серцевого ритму [5, 8]. Попри ці моменти, важливим питанням, для вирішення корекції порушень, що викликані стресом, тривожно-депресивними розладами, є методика біологічного зворотнього зв'язку за параметрами варіабельності серцевого ритму. Актуальними на сьогоднішній день є тренінги, націлені на підвищення парасимпатичного тонусу, що позитивно

впливають на стан людей, попереджують виникнення серцево-судинної патології, різного роду неврозів. Диференційовані релаксаційні техніки зможуть вирішити в майбутньому проблему стресостійкості [14, 18]. Існує ряд наукових робіт, присвячених даній тематиці, проте не вивчався вплив перегляду відеофрагментів на стан судинного тону. Відповідно, оцінюючи стан стресостійкості за параметрами даних математичного аналізу артеріальних осцилограм, можна аналізувати вихідний психологічний стан обстежуваного і за допомогою системи зворотнього зв'язку, безпосередньо впливати на нього, підбираючи картинки, відеофрагменти, що здатні викликати позитивні емоції. Незаперечним є той факт, що перегляд зображень викликає виникнення своєрідних емоцій, які можуть відобразитись як у варіабельності серцевого ритму, так і на електроенцефалограмі (ЕЕГ). Зокрема, перегляд картинок з різним емоційним забарвленням, спричиняє зміну ритмів ЕЕГ [13], ряд авторів наголошує саме на бета діапазон [17].

Нашу увагу привернув ряд наукових публікацій, де підкреслено заспокійливий ефект при впливі природними звуками (шум водоспаду, дощу, вітру, щебетання птахів, тощо) [10]. Так, ще Ulrich R.S [19] висвітлив у своїх дослідженнях, що вплив природним середовищем має відновлювальний ефект і викликає позитивні емоції. Згідно його досліджень, перегляд відеофільмів зі зображенням природи сприяли швидшому відновленню після стресу. Вивчалася також перевага впливу благоприємних звуків (50 дБА) природнього середовища над шумами міського середовища і їхня перевага у відновленні після стресу. При цьому нерідко використовували показники варіабельності [10]. Є дані, що звуки вітру та щебетання птахів суттєво знижує активність амілази слинної залози, яка слугує маркером психоемоційного напруження [20]. Власне, впливати за допомогою віртуального середовища, використовуючи звуки природи, природні ландшафти та інші імітації, є досить перспективною ідеєю, яка потребує більш детального вивчення.

Віртуальна реальність (VR) - це тривимірна модель реальності, яка створена комп'ютерними засобами і створює ефект присутності людини в ній [6]. Віртуальна реальність, впливаючи на систему органів чуття, здатна викликати безумовні емоційні реакції. Перспективним напрямком вважається вивчення впливу систем VR на людину і зокрема, на тривожні розлади [11, 15]. Якщо раніше шоломи віртуальної реальності застосовувались у якості розваг, то в умовах сьогодення головні дисплеї фірм Oculus RIFT, HTC Vive та інші, оснащені різного роду датчиками вмонтованими у шолом та з'єднаними з іншими пристроями та датчиками, що моніторують фізіологічний стан систем і органів. Відповідно, досить перспективним вивченням є вплив візуальної і звукової віртуалізації на біооб'єкт і відповідно подальше використання даного впливу з метою корекції тривожних розладів. Тому метою нашої роботи було вивчення впливу відеозображення «дзюрчання води» на вегетативний баланс з перспективою створення системи VR для психологічної реабілітації. Для реалізації поставленої мети досліджували стан вегетативної системи у студентів, так як вони знаходяться в зоні ризику стосовно напруження регуляторних систем, що пов'язано з екзаменаційними стресовими ситуаціями, незвичним, для їхнього сприйняття, дистанційним навчанням в умовах пандемії. Незаперечним є той факт, що поширеність дезадаптивних розладів серед студентів коливається від 5,8 до 61,35 % [9].

Матеріали та методи. Було обстежено 80 студентів (45 хлопців, 35 дівчат) ТНТУ ім. Пулюя та ТДМУ ім. І.Я. Горбачевського м. Тернополя, Україна. Дослідження проводили у два етапи. На першому етапі визначали рівень тривожності та оцінювали параметри варіабельності серцевого ритму у спокої, на другому – аналогічні параметри визначали після п'ятихвилинного впливу відеокomпозиції «дзюрчання води», що відображала дзюрчання води у струмках. У якості аудіовізуального впливу був використаний модуль реабілітації пацієнта засобами віртуальної реальності, який інтегрований до медичної інформаційної системи Оранта-МІС (рис. 1). Вказаний реабілітаційний засіб є складовою реабілітаційної програми.

Стан вегетативної нервової системи оцінювали за показниками артеріальної осцилограми, зареєстрованої під час вимірювання артеріального тиску електронним вимірювачем артеріального тиску ВАТ 41-2 (виробник «ІКСТЕХНО»). За допомогою спеціальних комп'ютерних програм, розроблених Вакуленком Д.В. [16], проводили аналіз артеріальних осцилограм. Показники пульсацій осцилограм оцінювали за максимальними (позитивними) екстремумами - max (під час проходження систолічної хвилі, серцева складова) та мінімальними (негативними) екстремумами - min (у період діастолі, судинна складова).

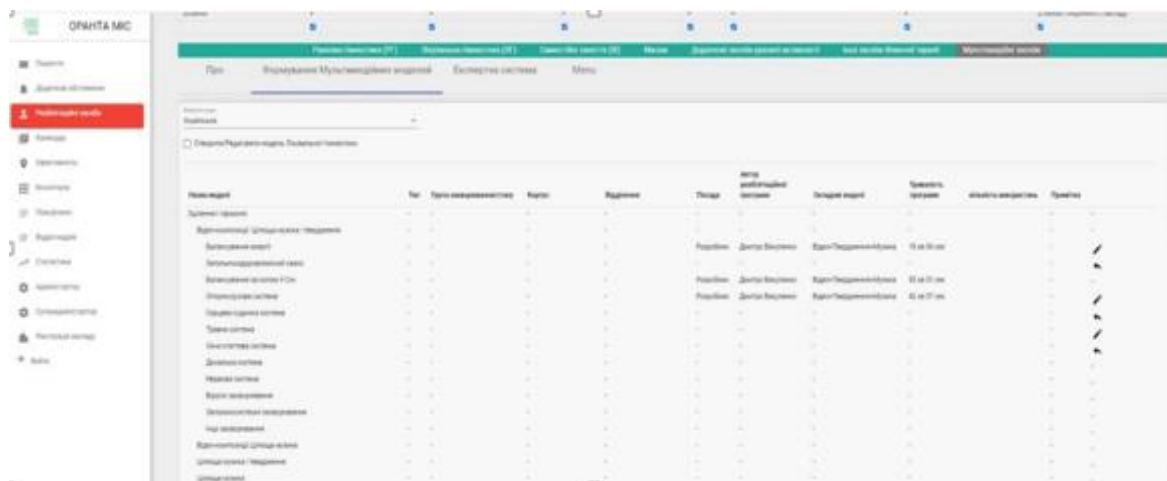


Рис. 1. Веб інтерфейс для формування програми реабілітації на основі середовища віртуальної реальності

Стан вегетативного балансу та рівні керування діяльністю серцево-судинної системи оцінювали за показниками часового і спектрального аналізу артеріальних осцилограм. Досліджували часові показники осцилограм у вигляді IN, IVR, BP, RMSSD, де IN – індекс напруження, IVR – індекс вегетативної рівноваги, BP – вегетативний показник ритму, RMSSD – квадратний корінь із середньої суми квадратів різниць між сусідніми NN-інтервалами. IVR оцінювався як показник рівний відношенню амплітуди моди гістограми розподілу кардіоінтегралів до різниці між максимальним і мінімальним кардіоінтервалами у вибірці. Даний індекс залежить від співвідношення між активністю симпатичної та парасимпатичної ланок вегетативної нервової системи. В свою чергу, показники BP і RMSSD характеризують ступінь впливу парасимпатичної ланки регуляції, чим менший BP, тим більше переважає парасимпатична регуляція, а RMSSD відображає здатність синусоїдального вузла до концентрації серцевого ритму. Показником чутливим до посилення тону симпатичної ланки вегетативного контуру вважається IN, який відображає ступінь напруження регуляторних систем і переважавання активності центральних механізмів регуляції над автономними.

Фізіологічний зміст спектрального аналізу артеріальної осцилограми (за аналогією з варіабельністю серцевого ритму електрокардіосигналу) полягає у тому, що за його допомогою оцінюються взаємовідносини окремих рівнів керування як ритмом серця [1], так і діяльністю судин [4]. Оцінювали спектральні показники: ULF, VLF, LF, HF. Відповідно, ULF – хвилі ультранизької частоти (менше 0,0033 Гц), VLF – хвилі дуже низької частоти (0,04 – 0,0033 Гц), LF-низькочастотний компонент спектру (0,04-0,15 Гц) і HF – високочастотна складова спектру (0,15 – 0,4 Гц). При цьому, показник LF і VLF характеризують симпатичний тонус, а показник HF – парасимпатичний. [12] Точне походження показника ULF залишається невідомим, вважають, що даний діапазон відображає активність вищих центрів регуляції серцевого ритму. Підвищення даного показника є характерним для зриву адаптації серцевого ритму.

Рівень особистісної тривожності визначали за методикою Ч.Д. Спілбергера, ступінь прояву нейротизму проводили за методикою Г. Айзенка, використовуючи 23 питання за шкалою нейротизм-стабільність [7].

Статистичний аналіз отриманих результатів проводився з використанням програмного пакету «OscEcgReoPuls». Статистичну оцінку достовірності показників здійснювали за допомогою критерію Стьюдента.

Результати та їх обговорення. Серед обстежених студентів у 30 (37,5%) за даними опитування тесту Спілбергера була виявлено рівень особистісної тривожності більше 45 балів, та у 25 (31,25%) висока ступінь прояву нейротизму. Все ж домінуючими залишались вибірки з низьким і помірним рівнем особистісної тривожності. Дані показники особливо тісно корелювали з показниками спектрального аналізу, такими, як LF і HF. Власне, між показником HF і рівнем тривожності відмічався тісний негативний корелятивний зв'язок, на противагу, з LF – тісний позитивний корелятивний зв'язок. Показник LF неодноразово в науковій літературі був описаний, як стрес-регулюючий, адже відомим є той факт, що високий рівень тривожності пов'язаний з активацією симпатичної нервової системи. Збільшення показника HF свідчить про збільшення адаптивних

резервів, тому даний показник був достовірно вищим у студентів з низьким і помірним ступенем тривожності.

Як видно з таблиці 1, перегляд відео композиції «дзюрчання води» викликав значну достовірну динаміку досліджуваних показників як у групі з вихідним високим рівнем тривожності, так і без неї. У загальній вибірці студентів при часовому аналізі артеріальних осцилограм за максимальними (позитивними) екстремумами, зареєстровано різке зростання показників IN (активності центрального контуру керування), IVR (активності симпатичної ланки ВНС) та зниження при цьому ВР, RMSSD (активності її парасимпатичної ланки). Відмічене свідчить, що перегляд відео композиції «Вода» сприяє зростанню централізації впливу на діяльність серця, зростають церебральні ерготропні впливи. У той же час судинний компонент зреагував по іншому, спостерігалось достовірне зменшення впливу симпатичної ланки ВНС на стан судин. Про це свідчать показники, зареєстровані за мінімальними (негативними) екстремумами: значне зниження IN, IVR та зростання ВР ($P < 0,05$). Власне, судинний компонент впливу проявлявся різким зниження симпатикотонії.

Таблиця 1

Часовий аналіз варіабельності серцевого ритму за показниками максимальних (pos) і мінімальних (neg) екстремумів артеріальних осцилограм, зареєстрованих до обстеження та після перегляду відеокomпозиції «дзюрчання води» (n=80)

Показник	У стані спокою	Після візуалізації
IN-pos	17.61+1.642	33.35+9.673*
IVR-pos	44.7+3.27	108.64+17.384*
ВРpos -	0.71+0.048	0.2928+0.028*
RMSSD	0.12+0.019	0.075+0.006*
АМо- neg	43.05+2.480	25.05+2.113*
IN- neg	45.29+4.034	10.89+0.810*
IVR-neg	109.45+10.781	29.45+2.372*
ВР-neg	0.31+0.043	0.857+0.018*

Примітка: * - $p < 0,05$ - достовірні зміни між вихідним станом і водою

Очевидна різниця між показниками часового аналізу за позитивними і негативними екстремумами підтверджує неоднозначний вплив візуалізації відеофрагментів як на центральний контур, так і судинний. Власне, в центральному контурі посилилась симпатична ланка вегетативної нервової системи, а в судинному вона знизилась і зсунувся баланс в сторону парасимпатичної.

Спектральний аналіз (табл. 2) артеріальних осцилограм дав можливість вивчити і оцінити вплив різних рівнів регуляції діяльністю серцево-судинної системи, а саме - безпосередньо на стан судин. Звертає на себе увагу достовірна динаміка всіх досліджуваних показників при «занурюванні» обстежених у віртуальну реальність за допомогою відеокomпозиції «дзюрчання води». В процесі дослідження відбулось достовірне підвищення показників HF(%) і LF(%). Причём, підвищення компоненту HF було домінуючим, що вказує на благоприємний вплив відеокomпозиції на вегетативний баланс і повністю співпадає з фактом про роль компонента HF у здатності до саморегуляції, до оптимального вегетативного регулювання [14]. На противагу вище перерахованим показникам HF і LF, відсоток коливань дуже низької частоти VLF в загальній потужності спектру і ультранизької частоти ULF достовірно знизилась в майже однаковій мірі (-51% і -53%). Спадання потужності VLF свідчило також про зниження гуморальної регуляції і активності симпатичного компоненту регуляції.

Таблиця 2

Спектральний аналіз показників артеріальних осцилограм зареєстрованих за загальною потужністю спектру сигналу зареєстрованих до обстеження та після перегляду відеокomпозиції «дзюрчання води» (n=80)

Показник	У стані спокою	Після візуалізації	
% ULF	2.33+0.104	1.14+0.25*	-51%
% VLF	35.98+6.63	17.03+1.96*	-53%
% LF	13.56+1.23	16.25+1.54*	+20%
% HF	48.13+5.81	64.63+3.43*	+34%

Примітка: * - $p < 0,05$ - достовірні зміни між вихідним станом і водою

Отже, перегляд відеокomпозиції «дзюрчання води» сприяв зниженню впливу симпатичної ланки ВНС на стан судин, зменшенню психоемоційного напруження. Про це свідчить зниження відсотку ULF та VLF у загальному спектрі частот та виражене зростання – HF (високочастотна складова спектру, що відповідає рівню активності парасимпатичної ланки регуляції).

Таким чином, автоматизована система формування складової реабілітаційної програми пацієнта з використанням віртуальної реальності зі зворотнім зв'язком для корекції психофізіологічного стану пацієнта повинна включати блок для відбору артеріальної осцилограми, блок обробки даних та блок для аудіовізуального впливу.

Зворотній зв'язок передбачає оцінку часових і спектральних характеристик артеріальної осцилограми і відслідковування їх змін під аудіовізуальним впливом мультимедійного середовища. Особлива увага приділяється показникам, які характеризують стан симпатичної ланки часовим IN та спектральним LF і VLF, та відповідно парасимпатичної ланки часовим BP, RMSSD та спектральним HF. Відеозображення буде подаватись під контролем досягнення вегетативної рівноваги. В якості блоку для аудіовізуалізації можна застосовувати VR-окуляри.

Висновки. Отже, частотний аналіз варіабельності серцевого ритму слугує індикатором стану регуляторних механізмів, зокрема нервової системи і психологічного стану. Відмічені тісні кореляційні зв'язки між рівнем особистісної тривожності та показниками варіабельності серцевого ритму, що відображають стан симпатичної та парасимпатичної ланок вегетативної нервової системи і за якими можна прогнозувати рівень стресового стану людини. Аналіз варіабельності серцевого ритму під впливом перегляду композицій «дзюрчання води» за часовим і спектральним методами показали позитивний заспокійливий вплив і доцільність застосування даної методики у системах віртуальної реальності зі зворотнім зв'язком, що допоможе контролювати рівень стресового стану і впливати відповідними відеофрагментами. Відбір і аналіз артеріальної осцилограми у такій системі віртуальної реальності буде слугувати маркером в оцінці психологічного стану людини, а відеозображення композиції «Дзюрчання води» дозволить коректувати психологічний стан пацієнта.

Перспективою подальших досліджень є вивчення впливу різного роду відеофрагментів на вегетативний баланс і розробка реабілітаційної автоматизованої системи віртуальної реальності зі зворотнім зв'язком в основу якого вкладено автоматизований відбір і аналіз артеріальної осцилограми для застосування у боротьбі зі стресом.

Інформаційні джерела

1. Баевский Р.М. Методические рекомендации по анализу ВСР при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. 2002. №24. С. 65-86.
2. Баевский, Р.М., Иванов, Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая функциональная диагностика. 2001. № 3. С.108-127.
3. Вакуленко Д. В. Застосування артеріальної осцилографії для оцінки якості адаптації серцево-судинної системи до зміни положення тіла (ортопроба) / Д. В. Вакуленко, Л. О. Вакуленко, О. В. Кутакова // Медична інформатика та інженерія. - 2016. - № 4. - С. 43-48. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mii_2016_4_10.
4. Вакуленко Д. В. Інформаційна система морфологічного, часового, частотного та кореляційного аналізу артеріальних осцилограму фізичній реабілітації: монографія / Д. В. Вакуленко. - Тернопіль : ТДМУ, 2015. - 212 с.
5. Голухова Е.З., Полунина А.Г. Перцепция сердцебиений, вариабельность сердечного ритма и нейропсихологические функции. Креативная Кардиология 2012; №2: 67 – 74.
6. Карпов О.Э. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения / О.Э. Карпов, В.Д.Даминов, Э.В. Новак, и др. // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова 2. – 2020. — Т. 15, № 1. – С. 89-98. - Режим доступу: https://www.pirogov-vestnik.ru/upload/iblock/8c3/2020_1_17.pdf
7. Римская Р., Римский С. Практическая психология в тестах, или как научиться понимать себя и других. – М.: АСТ-ПРЕСС, 1999. – С. 393.
8. Рунова Е. В. Вегетативные корреляты произвольных отображений эмоционального стресса / Е. В. Рунова, В. Н. Григорьева, К. А. Григорьева и др. // Современные технологии в медицине. – 2013. — Т. 5, № 4. – С. 69-77.
9. Хаустов М. М. Медико-психологічний погляд на проблему розладів адаптації у студентів [Електронний ресурс] / М. М. Хаустов // Медицина сьогодні і завтра. - 2019. - № 2. - С. 53-58. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Msiz_2019_2_8

10. Alvarsson, J. J., Wiens, S., & Nilsson, M. E. (2010). Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise, 1036–1046. <http://doi.org/10.3390/ijerph7031036>
11. Diemer J, Mühlberger A, Pauli P, Zwanzger P. Virtual reality exposure in anxiety disorders: impact on psychophysiological reactivity. *World J Biol Psychiatry* 2014 Aug;15(6):427–442.
12. Fazekas T., Scherlag B. J., Vos M. et al. Magnesium and the heart: antyarrhythmic therapy with magnesium. // *Clin. Cardiol.* – 1993. – № 16. – P. 768–774.
13. Iosilevich E.A, Chernysheva E.G., Chernyshev B.V. Psychophysiological study of the connection between the valence of the emotional response and the EEG spectral power indicators of human // *Modern Psychology: Theory and Practice: Materials of the V International Scientific and Practical Conference*, Moscow. – 2012. – Special book. – P. 21–27.
14. Kovaleva A.V., Panova E.N., Gorbacheva A.K. Analysis of heart rate variability and possibilities of its use in psychology and psychophysiology // *Sovremennaja zarubezhnaja psihologija*. 2013. No 1. Pp. 35–50.
15. Lindner P, Miloff A, Hamilton W, Reuterskiöld L, Andersson G, Powers MB & Carlbring P. Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations and future directions. *Cogn Behav Ther* 2017 Sep;46(5):404–420.
16. Martsenyuk V, Vakulenko D, Vakulenko L, Kłos-Witkowska A, Kutakova O. Information System of Arterial Oscillography for Primary Diagnostic of Cardiovascular Diseases. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 17th International Conference, CISIM 2018; 2018 Sep 27–29; Olomouc, Czech Republic. Berlin: Springer; 2018: 46–56. DOI: 10.1007/978-3-319-99954-8_5/
17. Miskovic V., Schmidt L.A. Cross-regional cortical synchronization during affective image viewing // *Brain Res*. 2010. Vol. 29. P. 102–111.
18. Paul M., Garg K. The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players // *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2012. Vol. 37, № 2. P. 131–44.
19. Ulrich RS. View through a window may influence recovery from surgery. *Science*. 1984;224:420–421.
20. Y. C.P. Arai, S. Sakakibara, A. Ito, K. Ohshima, T. Sakakibara, T. Nishi, S. Hibino, S. Niwa, and K. Kuniyoshi. 2008. Intra-operative natural sound decreases salivary amylase activity of patients undergoing inguinal hernia repair under epidural anesthesia. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica* 52, 7 (2008), 987–990. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-6576.2008.01649>.

¹Vakulenko D.V., DSc, ²Hevko O.V., PhD, ³Vakulenko L.A., PhD, ²Kifer V.M.

¹I. Horbachevsky Ternopil National Medical University

²Ternopil Ivan Puluj National Technical University

³Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

PROSPECTIVE DIRECTIONS IN CREATING A VIRTUAL REALITY SYSTEM FOR CORRECTING THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE PATIENT

The analysis of the study of the audiovisual effect of video clips "murmur of water" on the state of heart rate variability has been carried out. The correlation relationship between the degree of anxiety and changes in the temporal and spectral characteristics of the arterial oscillogram was investigated. The expediency of monitoring the psychological state according to the above parameters of the arterial oscillogram has been theoretically substantiated. The study confirmed psycho-corrective audiovisual influence. The parameters of the influence of "murmur of water" on the temporal and spectral characteristics of arterial oscillograms were determined with the prospect of using multimedia simulation with "murmur of water" in virtual reality systems. It has been proved that during the temporal analysis, the sympathetic part of the autonomic nervous system increased. The vegetative balance shifted towards the parasympathetic nervous system in the vascular circuit as opposed to. When analyzing the spectral characteristics of the arterial oscillogram, after watching the video composition "murmur of water", the influence of the sympathetic part of the autonomic nervous system on the state of the vessels also significantly decreased, which was manifested by a decrease in the percentage of ULF and VLF in the general frequency spectrum and an increase in HF.

The results obtained make it possible to apply them for the purpose of preventive rehabilitation, diagnostics and development of virtual reality systems with feedback, which will include conducting arterial

© Вакуленко Д.В., д.б.н., Гевко О.В., к.м.н., Вакуленко Л.О., к.м.н., Кіфер В.М.

oscillography in parallel with audiovisual simulation. This automated system will include a unit for the selection of arterial oscillograms, a data processing unit and a unit for audiovisual exposure to the "murmur of water". These studies encourage a more detailed study of the effect of multimedia simulation on the psychoemotional state and the state of the autonomic nervous system.

Key words: *virtual reality systems, psychological rehabilitation, heart rate variability, arterial oscillogram.*

¹Вакуленко Д.В., д.б.н., ²Гевко Е.В., к.м.н., ³Вакуленко Л.А., к.м.н., ²Кіфер В.М., аспірант

¹Тернопольский национальный медицинский университет имени И. Я. Горбачевского

²Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

³Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА

Проведен анализ изучения аудиовизуального воздействия видеотрегментов «журчание воды» на состояние вариабельности сердечного ритма. Исследована корреляционная связь между степенью тревожности и изменениями временных и спектральных характеристик артериальной осциллограммы. Теоретически обоснована целесообразность мониторинга психологического состояния по выше приведенным параметрам артериальной осциллограммы. В исследовании подтверждено психокорректирующее аудиовизуальное влияние. Определены параметры влияния «журчание воды» на временные и спектральные характеристики артериальных осциллограмм с перспективой применения мультимедийной симуляции «журчанием воды» в системах виртуальной реальности. Доказано, что при временном анализе в центральном контуре усилилось симпатическое звено вегетативной нервной системы, в противовес в сосудистом контуре - баланс сместился в сторону парасимпатической нервной системы. При анализе спектральных характеристик артериальной осциллограммы, после просмотра видеоконпозиции «журчание воды» также достоверно снизилось влияние симпатического звена вегетативной нервной системы на состояние сосудов, что проявилось снижением процента ULF и VLF в общем спектре частот и ростом HF.

Полученные результаты создают возможность применять их с целью превентивной реабилитации, диагностики и разработки систем виртуальной реальности с обратной связью, которая будет включать проведение артериальной осциллографии параллельно с аудиовизуальной симуляцией. Данная автоматизированная система будет предусматривать блок для отбора артериальной осциллограммы, блок обработки данных и блок для аудиовизуального воздействия «журчанием воды». Данные исследования побуждают к более детальному изучению влияния мультимедийной симуляции на психоэмоциональное состояние, состояние вегетативной нервной системы.

Ключевые слова: *системы виртуальной реальности, психологическая реабилитация, вариабельность сердечного ритма, артериальная осциллограмма.*

УДК 004.932.2 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-5

¹Н.В. Глухова, ²Л.А. Пісоцька¹НТУ «Дніпровська політехніка», ²Дніпровський державний медичний університет

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ БІОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДИ

Наявність високого рівня забруднення навколишнього середовища вимагає постійного удосконалення систем екологічного моніторингу, у тому числі розробки нових методів дослідження стану гідросфери. Оскільки вода є невід'ємною частиною будь-якої екосистеми, то актуальним завданням є вивчення не тільки фізико-хімічних, але і біологічних її властивостей.

Стаття присвячена проблемам розробки сучасних способів оцінки біологічних характеристик води. Запропонована інформаційно-вимірювальна технологія побудована на базі параметризації зафіксованих зображень газорозрядного випромінювання. Метод ґрунтується на можливості виявлення специфічних ознак зображень випромінювання рідини у полі високовольтного розряду, пов'язаних з біологічними властивостями води. Інструментальні засоби інформаційно-вимірювальної технології забезпечують отримання кількісних ознак гістограм зображень. Розроблена методика класифікації зображень на базі розрахунку евклідової відстані між медіанами у інтервалах яскравості гістограм. Запропонована інформаційно-вимірювальна технологія забезпечує надання комплексної оцінки біологічних характеристик води.

Ключові слова: *якість води, інформаційно-вимірювальна технологія, газорозрядне випромінювання, цифрова обробка зображень*

Вступ та постановка проблеми. Завдання розробки і удосконалення інформаційно-вимірювальних технологій дослідження якості води виявляється актуальним вже декілька десятиліть, оскільки контроль якості води є невід'ємною частиною екологічного моніторингу. Дослідження якості води є комплексним завданням, з питаннями контролю її властивостей пов'язано багато різноманітних галузевих досліджень. Сучасні умови забруднення навколишнього середовища, особливо у техногенно навантажених регіонах з суттєвим скупченням промислових підприємств, вимагають здійснення постійного екологічного моніторингу, який забезпечить оперативний контроль якості ресурсів гідросфери.

У більшості країн прийнято стандарти, що регламентують якість води. Переважна частина вимог стандартів стосується фізико-хімічних властивостей води, але в останні роки все більше уваги приділяється встановленню вимог щодо біологічних властивостей води [1-2]. Серед найважливіших фізичних параметрів, які суттєво впливають на якість води, виділяють показники каламутності, температуру, смак і запах, наявність твердих домішок, електропровідність; серед хімічних властивостей – рівень рН, жорсткість, лужність, аніонний та катіонний склад, вміст органічних і неорганічних речовин.

На теперішній час розроблений великий спектр методів та засобів вимірювання, призначених для оцінки фізичних та хімічних параметрів води, у тому числі питної. Що стосується розробки засобів вимірювань для оцінки біологічних якостей води, то можна констатувати той факт, що унаслідок різноманітності біологічних властивостей води і тенденції появи відповідних нових стандартів та вимог у цій сфері, проблема розробки засобів вимірювань для дослідження саме біологічних властивостей води є актуальною.

Серед біологічних характеристик води виділяють наступні: розчинений кисень, вміст токсичних і радіоактивних речовин, структура будова води. Виявлення та кількісна оцінка переважної більшості біологічних параметрів води потребують залучення достатньо складних засобів вимірювання. Відомі на теперішній час методи дослідження біологічних властивостей води можна умовно поділити на дві групи:

1) кількісна оцінка біологічних параметрів води з використанням технічних засобів вимірювань;

2) якісна оцінка біологічних параметрів води з використанням спеціальних індикаторів, у тому числі біологічного походження (бактерій, мікроорганізмів, водорості тощо).

Зокрема в Україні впроваджено декілька нормативних документів, які регламентують способи дослідження біологічних властивостей води на базі застосування біоіндикаторів [3-6].

Недоліком застосування способів оцінки якості води, які ґрунтуються на залученні біоіндикаторів є трудомісткість, необхідність залучення кваліфікованого персоналу, обмеження при транспортуванні та зберіганні біоіндикаторів, якісний характер отриманих результатів.

Як свідчить ряд наукових досліджень на біологічні властивості води впливає не тільки вміст певних речовин, але і її молекулярна структура та квантові властивості [7-11].

Метою роботи є розробка інформаційно-вимірювальної технології оцінки біологічних характеристик води на базі методу газорозрядного випромінювання.

Результати роботи. При розробці інформаційно-вимірювальної технології дослідження біологічних характеристик води використано базу даних, яка складається з вибірок зображень газорозрядного випромінювання різних типів води. З метрологічної точки зору, розробка методу вимірювань, заснованому на реєстрації і подальшій обробці зображень, вимагає визначення способів оцінки точності та достовірності результатів вимірювань, які ґрунтуються на використанні зображень.

Зрозуміло, що з метою надання не тільки якісної, але й кількісної оцінки біологічних характеристик води, необхідно виділення з наявних зображень певних параметрів, які дозволять реалізувати мету досліджень. На відміну від описаних вище способів дослідження біологічних властивостей води з використанням біоіндикаторів, аналіз зображень газорозрядного випромінювання зразків рідини дозволяє забезпечити отримання результатів у кількісній формі завдяки залученню сучасних методів цифрової обробки зображень.

В основу інформаційно-вимірювальної технології дослідження біологічних характеристик води покладено побудову гістограм зображень, які є інформативним способом аналізу як геометричних, так і яскравісних ознак зображень. Однак, гістограма зображення являє собою графічне представлення розподілу пікселів за яскравістю, тому безпосередньо не може слугувати для кількісної оцінки параметрів та класифікації. Стандартно побудована гістограма зображення являє собою ступінчасту фігуру, що налічує 256 стовпчиків для градацій яскравості, прийнятої в переважній більшості пакетів прикладних програм цифрової обробки зображень. Принципи побудови гістограм зображень відрізняються від широко застосованих у метрологічній практиці способів побудови гістограм при обробці результатів багатократних вимірювань.

Як було встановлено в результаті попередніх досліджень, при формуванні бази даних зображень газорозрядного випромінювання, доцільним виявилось скорочення кількості стовпчиків гістограми зображення для подальшого аналізу та параметризації [12]. Застосовуючи спосіб розбиття гістограми зображення на 12 інтервалів яскравості та з використанням бази зображень випромінювання для типових зразків води [13], запропоновано інформаційно-вимірювальну технологію дослідження біологічних характеристик води.

Розроблена інформаційно-вимірювальна технологія передбачає виконання наступних операцій отримання і обробки зображень:

- 1) формування дослідних зразків рідини;
- 2) експериментальна реєстрація зображень світіння рідини у полі високовольтного розряду на базі методу газорозрядного випромінювання [14];
- 3) побудова гістограм зображень для 12-ти інтервалів яскравості;
- 4) параметризація гістограм шляхом розрахунку значень медіан у 12-ти інтервалах яскравості і значень різниць між ними у сусідніх інтервалах.

При дослідженнях біологічних характеристик води було використано 8 різних зразків води, у тому числі дистильованої, з природних джерел (свердловин), водопровідної води мегаполісу. З використанням інструментальних засобів розробленої інформаційно-вимірювальної технології виконаний порівняльний аналіз параметрів гістограм.

Для кожного досліджуваного зразка води сформовано вибірку, яка складалася щонайменше з 50 окремих зображень газорозрядного світіння у полі високовольтного розряду. В межах кожної вибірки було отримано усереднені по вибірці параметри гістограм для 12-ти інтервалів розбиття. Таким чином, оцінені кількісно параметри випромінювання для кожного досліджуваного зразка рідини склали вектори значень медіан яскравості в 12-ти інтервалах, різниць медіан у сусідніх інтервалах розбиття.

На наступному етапі виконувалося порівняння оцінених кількісних параметрів між досліджуваними зразками вод та типовими з попередньо сформованої бази даних зображень, а також між собою. З метою здійснення автоматизованої класифікації за типами води, у складі

розробленої інформаційно-виміральної технології використовується програмний блок класифікації на базі розрахунку евклідової відстані.

В результаті було експериментально встановлено, що кількісні показники яскравості випромінювання для двох зразків дистильованої води володіють найнижчими показниками біодоступності. Аналогічний результат був отриманий і при проведенні паралельних досліджень біологічних ростових тестів, які полягали у регулярному поливі культурної рослини (цибулі) відповідними зразками води. Сутність біологічного дослідження полягала у вирощуванні цибулі на вологих підложках (просочених відповідними зразками досліджуваних вод) упродовж 20 днів. На протязі біологічного експерименту вимірювали довжину коріння, ростків, масу сухого залишку.

Середні показники для біологічних характеристик води були отримані для зразка зі свердловини, зразка водопровідної води з мегаполісу та зразка природної води з м. Приморськ. Аналогічні результати отримані також при проведенні паралельного біологічного ростового тесту. Фізико-хімічний аналіз відповідних зразків дозволив виявити, що у зазначених зразках водопровідної та природної води був перевищений вміст нітратів, а у зразку води зі свердловини спостерігалось перевищення сполук заліза.

Інші три зразка води з природних джерел володіли високими показниками біодоступності, що було підтверджено як за результатами застосування інформаційно-виміральної технології аналізу зображень випромінювання води, так і на базі використання ростових тестів культурних рослин. Результати побудови гістограм та параметризації зображень представлено на рис. 1 та 2.

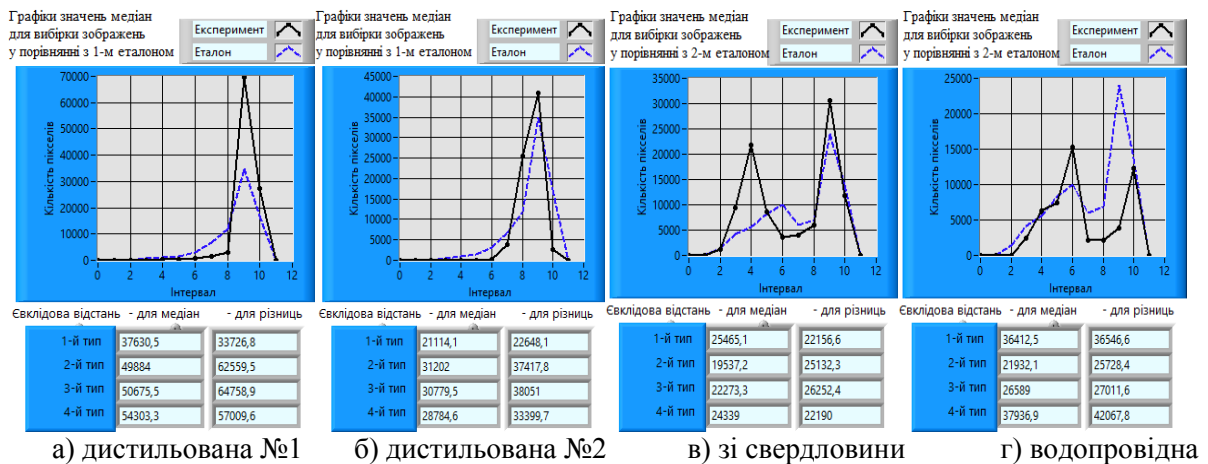


Рис. 1. Гістограми та кількісні параметри для зображень випромінювання зразків води №1-4

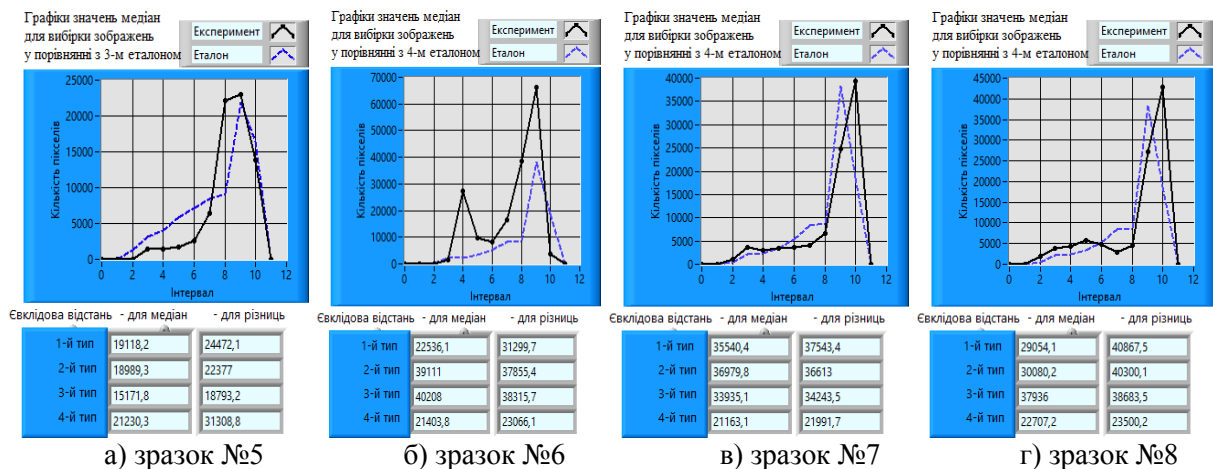


Рис. 2. Гістограми та кількісні параметри для зображень випромінювання зразків №5-8 природної води

На рис. 1 показано результати цифрової обробки зображень для двох зразків дистильованої води, а також для зразків зі свердловини і водопровідної. На рис. 2 представлено аналогічні результати розрахунків для зразків води з різних природних джерел. Інтерфейс користувача програмного забезпечення для аналізу зображень газорозрядного випромінювання забезпечує побудову 8 графіків (4 графіки гістограм досліджуваного зразку у порівнянні з типовими водами з бази даних зображень; 4 графіки для відображення різниць в інтервалах яскравості). На рис. 1 та 2 представлено графіки гістограм для 12-ти інтервалів тільки для зображень гістограм досліджуваного зразка у порівнянні з тим типовим (еталонним), для якого на базі розрахунку евклідової відстані було встановлено максимальну збіжність параметрів випромінювання.

На рис. 1 та 2 порівняння гістограм досліджуваного зразку відбувається з типовими (еталонними) водами наступних типів: 1 – дистильована; 2 – водопровідна; 3 – природна; 4 – функціональна. Усі типи води у базі даних еталонів сформовані в результаті обробки зображень зразків певного типу води (кожна з вибірок налічує щонайменше 800 зразків). У межах кожної вибірки оцінено усереднені значення медіан та різниць медіан, з якими відбувається порівняння шляхом розрахунку евклідової відстані між медіанами та їх різницями.

Висновки. Розроблена інформаційно-вимірювальна технологія дозволяє виконувати оцінку біологічних характеристик води та може виступати складовою частиною сучасних систем екологічного моніторингу за станом гідросфери.

Перевагами запропонованої інформаційно-вимірювальної технології є:

- можливість реалізації експрес моніторингу стану води та інших рідиннофазних об'єктів;
- відсутність необхідності залучення специфічних біоіндикаторів для здійснення моніторингу біологічних властивостей води;
- наявність прикладного програмного забезпечення для автоматизації аналізу зображень і їх класифікації, що відкидає необхідність присутності персоналу зі спеціальною кваліфікацією або експертів;
- при застосуванні у якості первинної інформації зображень газорозрядного випромінювання досягається можливість виконання комплексної оцінки властивостей води;
- завдяки поєднанню у складі інформаційно-вимірювальної технології сучасних інструментів обробки зображень та спеціально розроблених інструментальних засобів для параметризації специфічних ознак, що корелюють з біологічними властивостями, досягається можливість не тільки якісної оцінки біодоступності води на базі класифікації, але й кількісна оцінка у вигляді числових значень евклідової відстані між параметрами досліджуваного зразка і типовими класами.

Достовірність та ефективність методів оцінки біологічних характеристик води, використаних при розробці інформаційно-вимірювальної технології, підтверджена експериментально шляхом проведення біологічних ростових тестів при вирощуванні культурних рослин.

Інформаційні джерела

1. Nayla Omer. Water Quality Parameters / In book: Water Quality - Science, Assessments and Policy. – 2020. DOI:10.5772/intechopen.89657.
2. Spellman F.R. The Drinking Water: Handbook. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press. – 2017. – 386 p.
3. ДСТУ 4174:2003. Якість води. Визначання сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea).
4. ДСТУ 7387:2013. Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо репіо (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). – Введ. 2013.
5. ДСТУ EN 26461-1-2002. Якість води. Виявлення і підрахунок спор сульфитредукуючих анаеробів (клостридіум). Частина 1. Метод збагачення в рідкому середовищі.
6. ДСТУ EN 26461-2:2004. Якість води. Виявлення і підраховування спорсульфитредукувальних анаеробів (клостридіум). Частина 2. Метод мембранного фільтрування.
7. Messori C. The Super-Coherent State of Biological Water. Open Access Library Journal. - Vol.6 No.2. 2019. - PP. 1-17. DOI:10.4236/oalib.1105236.

8. Messori C., Prinzera S.V., F.B. di Bardoni. Deep into the water: exploring the hydro-electromagnetic and quantum-electrodynamic properties of interfacial water in living systems. - Open Access Library Journal.- Vol.06, No.05(2019), PP. 47-62. DOI:10.4236/oalib.1105435.
9. Dolveck J.Y. Study of Phase Coherence of Molecular Orientations in Coherence Domains of Water by Dynamic Molecular Simulation. – Water. - №6. – 2020. DOI: 10.14294/WATER.2020.6.
10. Глухова Н.В. Інформаційна технологія для дослідження когерентного стану рідини / Н.В. Глухова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - Том 32 (71). - №4. – 2021. – С.60-65. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/09>.
11. Глухова Н.В. Метод визначення ступеня когерентності води з використанням методології фліккер-шумової спектроскопії / Н.В.Глухова, Л.А. Пісоцька // Системи обробки інформації. – 2015. – № 5(130). – С.167-171.
12. Глухова Н.В. Виявлення інформативних ознак зображень на базі аналізу гістограм яскравості / Н.В. Глухова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - Том 31 (70). - № 4. – 2020. – С.75-80.
13. Глухова Н.В. Розробка системи експрес-класифікації води на основі бази даних зображень газорозрядного випромінювання / Н.В.Глухова, Л.А. Пісоцька, Н.Г. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил ім. І. Кожедуба. – 2015. – Вип. 3(44). – С. 112-118.
14. Спосіб визначення ступеня когерентності стану води: пат. на винахід №112809 Україна: МПК G01N 21/00, номер заявки а 2015 01841/ Л.А. Пісоцька, О.П. Мінцер, Н.В. Глухова; заявник та патентовласник Пісоцька Л.А. – Заявл. 02.03.2015; опубл. 12.09.2016, Бюл. №17. – 8с.

N. Glukhova, L. Pesotskaya

INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGY OF EVALUATION OF BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WATER

The presence of a high level of environmental pollution requires constant improvement of environmental monitoring systems, including the development of new methods for studying the state of the hydrosphere. Since water is an integral part of any ecosystem, the urgent task is to study not only its physicochemical but also biological properties.

The article is devoted to the problems of developing modern methods for assessing the biological characteristics of water. The proposed information and measurement technology is based on the parameterization of recorded images of gas discharge radiation. The method is based on the possibility of detecting specific features of images of liquid radiation in the field of high-voltage discharge associated with the biological properties of water. Information and measuring technology tools provide quantitative features of image histograms. The method of image classification based on the calculation of the Euclidean distance between the medians in the brightness intervals of histograms is described. The proposed information and measurement technology provides a comprehensive assessment of the biological characteristics of water.

Keywords: *water quality, information and measuring technology, gas discharge radiation, digital image processing*

Н.В. Глухова, Л.А. Песоцкая.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЫ

Наличие высокого уровня загрязнения окружающей среды требует постоянного усовершенствования систем экологического мониторинга, включая разработку новых методов исследования состояния гидросферы. Поскольку вода является неотъемлемой частью любой экосистемы, актуальной задачей является изучение не только физико-химических, но и биологических ее свойств.

Статья посвящена проблемам разработки современных способов оценки биологических характеристик воды. Предложенная информационно-измерительная технология построена на базе параметризации зафиксированных изображений газоразрядного излучения. Метод

© ¹Н.В. Глухова, ²Л.А. Пісоцька

основан на возможности выявления специфических признаков изображений излучения жидкости в поле высоковольтного разряда, связанных с биологическими свойствами воды. Инструментальные средства информационно-измерительной технологии обеспечивают получение количественных признаков гистограмм изображений. Разработана методика классификации изображений на основе расчета евклидова расстояния между медианами в интервалах яркости гистограмм. Предлагаемая информационно-измерительная технология обеспечивает предоставление комплексной оценки биологических характеристик воды.

Ключевые слова: *качество воды, информационно-измерительная технология, газоразрядное излучение, цифровая обработка изображений*

УДК 658.512

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-6

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

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ ПРИЛАДІВ

В роботі з позицій системного аналізу розглянуті основні питання науково-технологічних основ модульних процесів автоматичного складання приладів в приладобудуванні, які базуються на застосуванні сучасних інформаційних технологій і модульного обладнання та оснащення, забезпеченні досягнення кращих результатів у цих процесах. Особливості процесу модульного автоматичного складання різномісних приладів визначаються: матеріальними, енергетичними та інформаційними потоками, властивостями складуваних деталей та їх групуванням, способами переналадки і складання, параметрами складання, техніко-економічними показниками. В загальному перед моделюванням будь-яких об'єктів або процесів автоматичного модульного складання приладобудування слід провести пошук відомих і добре розроблених моделей з їх програмним забезпеченням, які можуть бути рекомендовані для використання. І тільки при їх відсутності або недостатній точності можна поставити задачу про розробку нової моделі, яка повинна мати переваги перед відомими.

***Ключові слова:** процес, моделювання, автоматизація, приладобудування, складання, прилади, заходи.*

Вступ. Виготовлення продукції в приладобудуванні повинно бути економічним, маловитратним і конкурентоспроможним. Поставленим вимогам відповідає моделювання приладів і процесів [1, 2]. Метою роботи є підвищення ефективності процесів автоматичного складання різновидів конкурентоспроможних приладів на базі наукових основ модульних складальних процесів. Мета, можливості та шляхи забезпечення моделювання складального виробництва впливають з загальних сучасних потреб виробництва, його ефективності та рентабельності в умовах ринкової економіки.

Передумови формування модульних складальних систем витікають з сучасних тенденцій розвитку виробництва [2]. Однак, головними підходами є розробка та використання елементів високоефективних складальних технологій типу *CALS-technologies*, принцип модульності технологій та конструкцій, переналагоджуваність, адаптивність, якість та конкурентоспроможність автоматично складаних виробів, уніфікованість технологічно-конструкційних рішень. При цьому, передбачається використання технічних досягнень чисельних наук, таких як теорій множин, матриць, графів, логіки, ймовірностей, електроніки, програмного управління, механізмів і машин, тощо. Велике значення має загальна теорія точності, особливо автоматичного складання, надійності та продуктивності.

Аналіз останніх публікацій. В основу моделювання покладені відомі методи моделювання складних систем [3, 4, 5 6], що представляють собою значний теоретичний доробок багатьох вчених різних областей знань. Але проблематика модульних систем ще далеко не сформована, хоча потреби сучасного приладобудівного виробництва вимагають її рішення. Така система є найбільш складною як за кількістю потоків різних інгредієнтів, так і їх складності та взаємовпливу. Вона також відноситься і до великих систем, оскільки має контролювати і керувати значною кількістю об'єктів (складальне обладнання, оснащення, складуванні деталі, вузли, налагодження, супутники, накопичувачі, транспорт і т.п.). Модульна складальна система є багатофункційною, динамічною, яка має багаторівневу ієрархічну структуру, а в своєму складі має ще ряд взаємопов'язаних і доповнюваних підсистем, що в додатку до всього ще й реалізують таку властивість, як гнучкість та автоматичність.

Постановка проблеми. В загальному проблема моделювання складальних систем в приладобудуванні повинна вирішуватись в організаційному, конструкційному, технологічному та соціальному напрямках, в яких технологічний та конструкційний є першорядними і найбільш складними. Проблемою є формування структури складальної системи зі своїми підсистемами, що сприятиме розвитку та впровадженню в виробництво сучасної потрібної системи з інноваційними рішеннями, які передбачають суттєве підвищення показників якості технологічних процесів і складаних різних приладів. При цьому основними цілями завданнями можна вважати: визначення пріоритетних напрямків розвитку процесів, проведення аналізу

© Григор'єва Н.С., д.т.н., проф., Марчук І. В., к.т.н., доц, Шабайкович В.А., д.т.н., проф.

науково-технічної бази моделювання та розроблення пропозицій щодо її удосконалення для приведення у відповідність її до можливостей та вимог сучасного виробництва, розробка методики побудови таких моделей та оцінка їх ефективності, розроблення рекомендацій щодо черговості проведення робіт з врахуванням вимог ринку до конкурентоспроможності виробів, формування складальної системи з підсистемами модульного складання різних приладів з визначенням їх параметрів, удосконалення механізму направленої формування показників якості процесів і приладів, науковий супровід розробки та реалізації модульних складальних систем і підсистем.

Структуроване викладення матеріалу. Одним з найефективніших методів дослідження процесів модульного автоматичного складання є програмне моделювання на комп'ютері, що дозволяє найбільш швидко та адекватно оцінити якісні та кількісні закономірності функціонування складальної системи, встановити сукупність зв'язків і обмежень, вирішити оптимальні границі переналагодження складального обладнання та оснащення. Моделюванням можна вважати аналіз функціонування модульної складальної системи, що є необхідним для прийняття технічно та економічно обґрунтованих конструкційно-технологічних рішень. Завданням моделювання є створення програмної моделі, що складається з окремих модулів, траєкторій переміщення деталей під час модульного складання, яка представляється функцією мети, системою описаних рівнянь, рядом прийнятих обмежень, що відтворюють зміну просторового положення різнотипних деталей при суміщенні визначальних векторів деталей по оптимальній траєкторії.

Для досягнення оптимальних техніко-економічних показників функціонування системи автоматичного складання приладів необхідне проведення моделювання процесу з послідовним визначенням структури та одержання оптимальних параметрів. Суть такого моделювання полягає у використанні блочних програмних модулів, які алгоритмічно описують зміну положення різних деталей під час їх автоматичного складання та переналагодження, одержання достовірних характеристик, що задовольняють вибраному критерію оцінки ефективності цілого процесу.

Найбільш розповсюдженим програмним забезпеченням, що дозволяє досить просто виконати ці операції є SolidWorks [4, 5, 6]. В цьому пакеті ПЗ можна побудувати розмірну 3D модель приладу, дослідити його технічні характеристики, а також змодельовати роботу рухомих частин. Другий етап – виготовлення макету. На даний момент найбільш дешевим та найменш працездатним способом такого виготовлення є 3D друк, що дозволяє за відносно короткий час отримати досить якісну модель приладу або його частини із точністю приблизно 0,2 мм.

Моделювання управління автоматичних складальних процесів може виконуватись різними методами [5, 6]. В моделі складальної системи у різних мережах процеси описуються деякою множиною подій та умов, а також причинно-наслідковими зв'язками. Послідовність виконання окремих подій управляється станом системи, які задаються множиною умов. Виконання цих умов забезпечує можливість поставання заданої події, після чого відкривається можливість виконання інших умов, що знаходяться в причинно наслідковому зв'язку. Умовам в мережах відповідають позиції, а подіям переходи, спрацювання яких відображає послідовність подій. Виконання заданої умови позначається позначкою у відповідній позиції.

Моделювання динаміки процесу автоматичного складання деталей пов'язане з проблемою точності технологічного обладнання та оснащення, особливо в умовах його серійного виготовлення. Любе дослідження в першу чергу передбачає побудову відповідної математичної моделі, яка однозначно визначається певними параметрами, вхідною інформацією та початковими умовами. Такі моделі можуть бути детермінованими або імовірнісними, що враховують ряд випадкових чинників. Програмне моделювання використовує алгоритмічний опис процесів переміщень виконавчих складальних механізмів, а його суть полягає в складанні сукупності рівнянь, що дозволяють однозначно визначити закон зміни вихідних параметрів виконавчих механізмів з врахуванням довільно вибраного можливого поєднання первинних похибок. Моделюючий алгоритм дозволяє одержати на виході вірогідні параметри. Такі алгоритми будуються з використанням методів статистичних досліджень або дерева логічних можливостей [7].

Точність складальних з'єднань деталей приладів при моделюванні обумовлюється цілим рядом чинників, які приводять до появи постійних і випадкових похибок. При модульному складанні сумарна похибка в значній мірі залежить від динамічних явищ процесу і є підставою

одержання високої надійності процесу. Дослідження динамічних явищ при модульному складанні базуються на фундаментальних працях по динаміці механічних систем [8, 9].

В процесах модульного автоматичного складання діють різні потоки: матеріальні, енергетичні, інформаційні, тощо, між якими є різні зв'язки. Застосовують різні методи моделювання матеріальних і інших потоків, що характеризуються деякою множиною допустимих для них станів, які і забезпечують ефективне функціонування складальної системи. Діаграми станів системи сприяють параметризації, тобто описів окремих її елементів. Відображення всіх потоків в складальній системі можна навести в концептуальних моделях, в яких відображаються функціональні елементи виробництва по перетворенню потоків. Такі моделі є необхідними при дослідженні конкретних ситуацій, а окремі функції елементів моделі подаються в термінах операцій перетворення потоків за допомогою орієнтованих графів [10] можливих зв'язків між визначеними вершинами. Моделі складаються з окремих блоків (складального обладнання, керування, процесу складання, тощо). Вважається, що концептуальна модель може бути оформленою в вигляді пояснювальної записки до технічного завдання на моделювання складальної системи.

Після опису елементів і структури модульної складальної системи, її підсистем, матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків, діаграм станів і переходів між ними, функціональних співвідношень, головних причинно-наслідкових пов'язань та алгоритмічних схем керування системою переходиться до формалізації одержаних даних і побудови імітаційних моделей на комп'ютері для проведення всіх необхідних обчислень.

Висновки. З представленою матеріалу по моделюванню, як одного з найбільш перспективних методів розкриття суті автоматичного складання на переналагоджуваному технологічному обладнанні та оснащенні, виявлені та оцінені сукупності взаємозв'язків і обмежень, можна зробити наступні висновки. Суть програмного моделювання полягає у використанні блочних програмних модулів, які алгоритмічно описують зміну положення різнотипних деталей під час автоматичного складання та переналагодження, одержані достовірних характеристик, що задовольняють вибраному критерію ефективності цілого процесу.

Особливості процесу модульного автоматичного складання різнотипних приладів визначаються: матеріальними, енергетичними і інформаційними потоками, властивостями складаних деталей та їх групуванням, способами переналагодження та складання, параметрами складання, техніко-економічними показниками. Програмна модель модульного складання різнотипних приладів складається з модулів визначення займаемого положення різнотипних деталей, формування оптимальних траєкторій їх переміщення під час їх автоматичного складання, обмеження форми складаних деталей та елементів технологічного обладнання та оснащення, програмної реалізації складального процесу.

Для моделювання технологічних процесів складання різнотипних приладів краще використовувати відомі графові моделі, а також моделі, закладені в системи САПР ТП складання, наприклад КОМПАС –3D. З метою підвищення точності моделі рекомендується використовувати математичні моделі багатопільової модульної складальної системи з відомими математичними методами і алгоритмами оптимізації конструкційно-технологічних рішень.

В загальному перед моделюванням будь-яких об'єктів або процесів модульного складання слід провести пошук відомих і добре опрацьованих моделей з їх програмним забезпеченням, які можуть бути рекомендованими для використання. І лише при їх відсутності або недостатній точності можна ставити завдання про розробку нової моделі, яка безумовно повинна мати переваги перед відомими.

Інформаційні джерела

1. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К. : Видавнича група ВНУ, 2005. – 352с.
2. Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем [текст]: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский ин-дустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
3. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в anylogic7. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с
4. Яригін, В. А., Вислоух С.П. Про сучасні методи та засоби моделювання. КІП ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019 -355 с.
5. Гнучкі комп'ютеризовані системи проектування, моделювання, управління: Підручник / Ямпольський Л.С і інші. – Житомир: ЖДТУ, 2005. - 680 с.

6. Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
7. Онопрієнко М.В. Інформаційні технології в науці: методологічний вплив і проблеми. / М.В. Онопрієнко // Science and Science of Science, № 3, 01.02.2011, – К.: Аналітик-Інформ, – 2011. – С.48-58 с.
8. Возможности – инструмент имитационного моделирования anylogic [электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru/features/>
9. Производство – инструмент имитационного моделирования anylogic [электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru/manufacturing/>
10. Комп'ютерна техніка та інформаційні технології (навчальний посібник) — А.В. Козловський, Ю.М. Паночішин, Вид-во «Знання», 2012. – 276 с.

Н.С. Григорьева, д.т.н., проф., И. В. Марчук, к.т.н., доц., В.А.Шабайкович, д.т.н., проф.
Луцкий национальный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ПРИБОРОВ.

В работе с позиций системного анализа рассмотрены основные вопросы научно-технологических основ модульных процессов автоматического сборки приборов в приборостроении, которые базируются на применении современных информационных технологий, модульного оборудования и оснащения, обеспечении достижений лучших результатов в этих процессах. Особенности процесса модульной автоматической сборки разнотипных приборов определяются: материальными, энергетическими и информационными потоками, свойствами собираемых деталей и их группированием, способами переналадки и сборки, параметрами сборки, технико-экономическими показателями. В общем, перед моделированием любых объектов или процессов автоматической модульной сборки приборостроения следует провести поиск известных и хорошо разработанных моделей с их программным обеспечением, которые могут быть рекомендованы для использования. И только при их отсутствии или недостаточной точности можно поставить задачу о разработке новой модели, которая должна иметь преимущества перед известными.

Ключевые слова: процесс, моделирование, автоматизация, приборостроение, сборка, приборы, мероприятия.

N. Grigorieva, DSc, PhD, Eng. I. Marchuk, Ph.D, V. Shabaykovitch, DSc, PhD, Eng.
Lutsk National Technical University

SIMULATION OF PROCESSES OF AUTOMATIC ASSEMBLY OF DEVICES

In the article from the standpoint of systems analysis, the main issues of the scientific and technological foundations of modular processes for the automatic assembly of devices in instrument making, which are based on the use of modern information technologies, modular equipment and equipment, and ensuring the achievement of the best results in these processes, are considered. Features of the process of modular automatic assembly of various types of devices are determined by material, energy and information flows, properties of the folded parts and their grouping, methods of changeover and assembly, assembly parameters, technical and economic indicators. In general, before modeling any objects or processes of automatic modular assembly of instrumentation, a search should be made for known and well-developed models with their software that can be recommended for use. Only in the absence of them or insufficient accuracy can the task of developing a new model be set, which should have advantages over the known ones.

Key words: process, modeling, automation, instrumentation, assembly, devices, activities.

УДК 621.9.08-52

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-7

Денисюк В.Ю., к.т.н.

Луцький національний технічний університет

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ СКАНЕРА СКАНУЮЧОГО ЗОНДОВОГО МІКРОСКОПА

В статті представлені результати досліджень п'єзоелектричного сканера для прецизійних механічних переміщень в скануючому зондовому мікроскопі з ємнісними датчиками переміщення і методи обробки зображень. Обґрунтовано вибір ємнісного датчика із змінним зазором між обкладками, завдяки високій точності і чутливості, простої і дешевої конструкції, а також мінімальними нелінійними спотвореннями, що вносяться в роботу СЗМ. Оцінка параметрів управління, отримана за допомогою математичної моделі СЗМ, дозволила спроектувати ПІД-регулятор, що забезпечує прецизійне механічне переміщення з заданою точністю. Розроблена методика вимірювань і обробки інформації здатна відстежити ефекти кріпу, гістерезису та інших нелінійностей п'єзокераміки. Вона не залежить від впливу температурних шумів, ефектів зміни параметрів сканера в часі.

Ключові слова: п'єзоелектричний сканер, скануючий зондовий мікроскоп, зонд, ємнісний датчик, точність, керування, сигнал, ПІД-регулятор.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших компонентів скануючого зондового мікроскопа (СЗМ) є сканер, який забезпечує прецизійні переміщення дослідного зразка. У методі постійної висоти сканер підтримує постійний зазор між зондом і поверхнею зразка. З точки зору задач автоматичного регулювання сканер є виконавчим пристроєм. Від характеристик сканера багато в чому залежить точність вимірювань.

На сьогоднішній день сканери для СЗМ найчастіше виготовляються з п'єзокерамічних виконавчих пристроїв. П'єзокераміка володіє такими параметрами, як кріп і гістерезис. Ці властивості спотворюють реакцію на вхідний сигнал і ускладнюють процес вимірювань. Щоб уникнути цих факторів, є два варіанти вирішення проблеми:

1. Поліпшення параметрів сканера (це різко збільшує його вартість).
2. Створення системи керування переміщення сканера на датчиках інших типів.

Використовуючи другий метод, можливо отримати більш дешеву конструкцію СЗМ і поліпшити параметри вимірювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В методи побудови систем керування переміщенням в СЗМ різних типів (атомно-силових мікроскопах (АСМ), скануючих тунельних мікроскопах (СТМ), магнітно-силових мікроскопах (МСМ), електростатичних силових мікроскопах (ЕСМ) та інших) внесли вклад такі вчені: Биков В.А., Биков А.В., Миронов В.Л., Голубок А.О., Горбенко О.М., Фельдшін М.О., Сапожников І.Д., G. Binning, G. Roger та інші.

Однак, незважаючи на велику кількість публікацій з дослідження методів побудови системи автоматичного регулювання в СЗМ і вирішення некоректних задач, як і раніше актуальним є питання про враховування нелінійностей характеристик датчиків, способів корекції цих нелінійностей, додаткової інформації про вибір параметра регуляризації в методі регуляризації Тихонова і про оцінку похибки відновлення двовимірному сигналу, одержуваного в СЗМ [2].

Загальним принципом роботи СЗМ є контроль взаємодії дуже гострої голки з досліджуваною поверхнею. СЗМ класифікуються за фізичним змістом інформаційного сигналу про відстані між зондом і поверхнею досліджуваного об'єкта. Основним принципом СЗМ є сканування. Це означає, що в один момент часу зонд взаємодіє з однією точкою досліджуваної поверхні. Інформація про всю досліджувану поверхню отримується внаслідок розбиття поверхні на рядки і стовпці [3].

У процесі сканування зонд може перебувати над ділянками поверхні, що мають різні фізичні властивості, в результаті чого величина і характер взаємодії зонд-зразок будуть змінюватися. Крім того, якщо на поверхні зразка є нерівності, то при скануванні змінюватиметься і відстань ΔZ між зондом і поверхнею, відповідно змінюватиметься величина локальної взаємодії [4, 6].

Інформаційний сигнал може використовуватися безпосередньо для отримання інформації про досліджувану поверхню. Найчастіше інформаційні сигнали, такі як тунельний струм або

сили міжатомної взаємодії, мають значну величину тільки при малих відстанях між зондом і досліджуваною поверхнею. Це накладає обмеження на діапазон перепаду вимірюваної величини досліджуваної поверхні, наприклад, висоти профілю. Для розширення цього обмеження використовуються методи підтримки постійного інформаційного сигналу за рахунок переміщення зонда відносно досліджуваного зразка і підтримки величини зазору (висоти) постійною. Це призводить до використання систем автоматичного регулювання [6].

Мета роботи. Підвищення точності вимірювань в СЗМ за рахунок вдосконалення датчиків переміщення, введення цифрової системи регулювання переміщенням сканера і математичної обробки отриманих даних.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження морфології і локальних властивостей поверхні твердого тіла, діагностики дефектів, кількісної та якісної оцінки характеристик металевих і неметалевих матеріалів, а також біологічних об'єктів на мікро- і нано- рівні широко використовуються різні методи СЗМ. Областями їх застосування є: матеріалознавство (аналіз властивостей матеріалів, діагностика дефектів матеріалів), фізика (вивчення характеристик твердого тіла, а також рідин), біологія і медицина (вивчення параметрів клітин різного виду).

На рис. 1. представлено основні компоненти СЗМ: 1 – зонд; 2 – зразок; 3 – п'єзoeлектричні двигуни x , y , z для прецизійного переміщення зонда над поверхнею досліджуваного зразка; 4 – генератор розгортки, що подає напруги на п'єзодрайвери x і y , що забезпечують сканування зонда в горизонтальній площині; 5 – електронний сенсор, детектуючий величину локальної взаємодії між зондом і зразком; 6 – компаратор, що порівнює поточний сигнал в ланцюзі сенсора $V(t)$ з початково заданим V_s , і, при його відхиленні виробляє коригуючий сигнал V_{fb} ; 7 – електронний ланцюг зворотного зв'язку, що управляє положенням зонда по осі Z ; 8 – комп'ютер, що управляє процесом сканування і отриманням зображення 9.

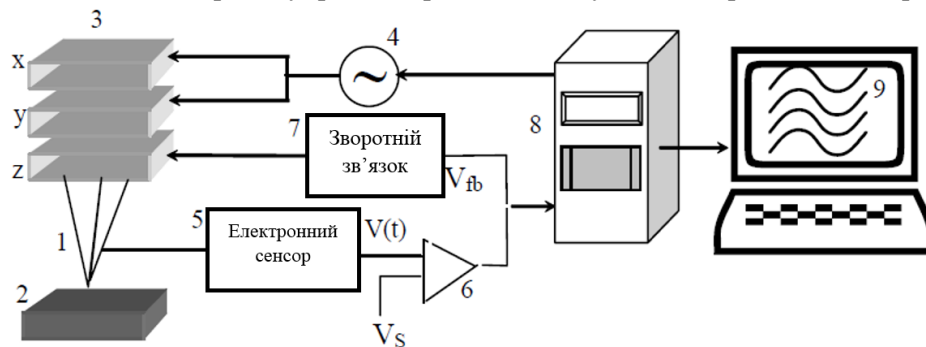


Рис. 1. Загальна схема скануючого зондового мікроскопа:

1 – зонд; 2 – зразок; 3 – п'єзoeлектричні двигуни x , y , z ; 4 – генератор напруги розгортки на x , y п'єзокераміки; 5 – електронний сенсор; 6 – компаратор; 7 – електронний ланцюг зворотного зв'язку; 8 – комп'ютер; 9 – зображення $z(x, y)$

У конструкції СЗМ присутні механічні, електронні, обчислювальні і програмні модулі, які визначають точність його роботи. Дослідження і вдосконалення цих модулів дозволить поліпшити параметри роботи мікроскопа в цілому і на основі цих даних створювати нові класи вимірювальних приладів.

Найважливішим компонентом СЗМ є сканер, який забезпечує прецизійні переміщення зразка. Від характеристик сканера багато в чому залежить точність вимірювань. Сканер має найбільшу кількість нелінійностей, тобто вносить велику кількість спотворень в досліджуваний профіль поверхні і зменшує достовірність одержуваної інформації.

Завдання слідкуючої системи полягає в підтримці контрольованого параметра об'єкта керування на заданому рівні з заданою точністю. На рис. 2 приведена загальна схема слідкуючої системи.

Вхідним сигналом для блоку обробки сигналів слідкуючої системи є сигнал помилки. Цей сигнал характеризує відхилення контрольованого параметра об'єкта керування від встановленого значення цього параметра. Оброблений сигнал надходить на виконавчий пристрій, який змінює контрольований параметр об'єкта керування [4].

Для блоку обробки сигналів слідкуючої системи ставиться завдання перетворення вхідного сигналу так, щоб оптимізувати динамічні характеристики зміни контрольованого параметра об'єкта керування. Для вирішення цих завдань застосовуються алгоритми

пропорційної (П), пропорційно-інтегральної (ПІ), пропорційно-диференціальної (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальної (ПІД) регуляції. Так само застосовуються алгоритми придушення шумів, частотної фільтрації тощо [1, 6]. Часто в СЗМ інформаційний сигнал являє собою періодичний сигнал високої частоти, що змінюється в часі. В такому випадку, щоб отримати точну інформацію про зміни цього сигналу, використовується алгоритм синхронного детектування [7].

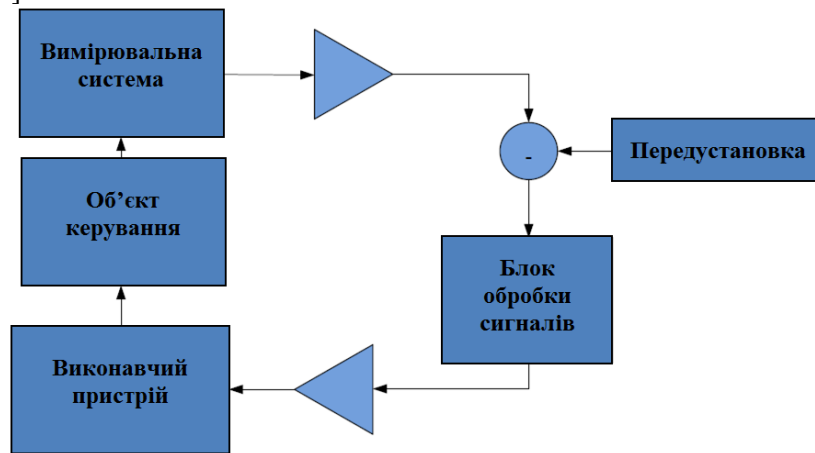


Рис. 2. Загальна схема слідкуючої системи

Ефективність застосування СЗМ залежить, в першу чергу, від параметрів приладу, а саме: від характеристик датчиків переміщень і від точності параметрів системи керування переміщенням. Тому одним з важливих напрямків є вирішення проблеми спотворення реакції на вхідний сигнал шляхом створення і вдосконалення системи керування переміщення на основі нових датчиків з використанням методів обробки сигналів в системі регулювання.

Датчики переміщення поділяються за принципом дії і можуть бути [5, 6]: ємнісними, індуктивними, вихрострумовими, оптичними, потенціометричними, магніторезистивними, магнітострикційними, ультразвуковими, на основі ефекту Холла.

З усіх розглянутих датчиків переміщення і методик для вирішення поставленого завдання найбільш підходять ємнісні датчики і оптичні. Так як обидва цих датчика підходять за характеристиками точності, варто вибрати найбільш дешевий і технологічно простий. Таким є ємнісний датчик лінійного переміщення із змінним зазором між обкладками, завдяки високій точності і чутливості, простої і дешевої конструкції і мінімальними спотвореннями, що вносяться в роботу СЗМ.

В основі роботи датчиків даного типу лежить функціональна залежність ємності конденсатора від його геометричної конфігурації. У базовому виконанні мається на увазі зміна відстані між пластинами шляхом зовнішнього фізичного впливу (рис. 3).

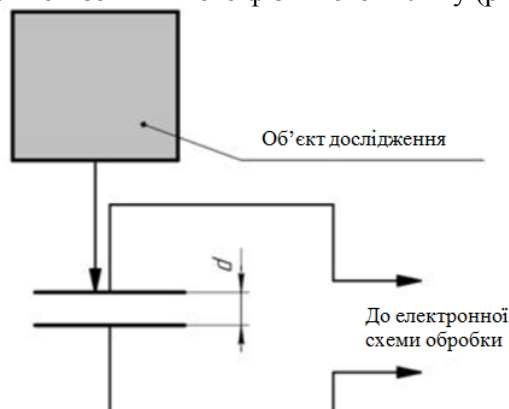


Рис. 3. Ємнісний датчик лінійного переміщення зі змінною величиною зазору

Так як ємність конденсатора змінюється пропорційно зворотному значенню величини зазору між пластинами, за умови визначеності площі обкладок конденсатора і діелектричної проникності діелектрика між ними, визначення ємності дозволяє судити про відстань між пластинами. Зміну ємності можна виміряти низкою способів (наприклад, вимірюючи його імпеданс). Вимірювання ємності конденсатора проводиться в складі електричного

вимірювального ланцюга [5].

Завдання відновлення двовимірного сигналу, спотвореного апаратною функцією, полягає, з точки зору метрології, в добуванні кількісної інформації про справжній сигнал з вимірюного спектра. Воно називається зворотнім завданням, або завданням редукції до ідеального приладу [2], і є одним з варіантів редукційної проблеми Релея. Це завдання, у якому малим похибкам вимірювання спектра і похибкам в апаратній функції можуть відповідати як завгодно великі похибки у відновленому сигналі. Тому для його чисельного розв'язку потрібне застосування стійких методів. Методику відновлення двовимірних сигналів СЗМ здійснено за допомогою математичної обробки виміряних сигналів шляхом розв'язання інтегрального рівняння методом регуляризації Тихонова.

Для вирішення цих питань, що сприяють підвищенню точності вимірювань в СЗМ, запропоновані наступні способи – спосіб побудови системи керування переміщенням в СЗМ на основі ємнісних датчиків і спосіб калібрування ємнісних датчиків, що застосовуються в СЗМ. Для вирішення обернених задач в СЗМ запропоновано алгоритм відновлення двовимірних сигналів, який є досить точним і використовує лише лінійні операції.

Систему автоматичного регулювання можна розбити на наступні компоненти [6]:

1. Датчик пересування сканера.
2. Вимірювальна схема.
3. ПД-регулятор.

Загальна схема системи автоматичного регулювання представлена на рис. 4.

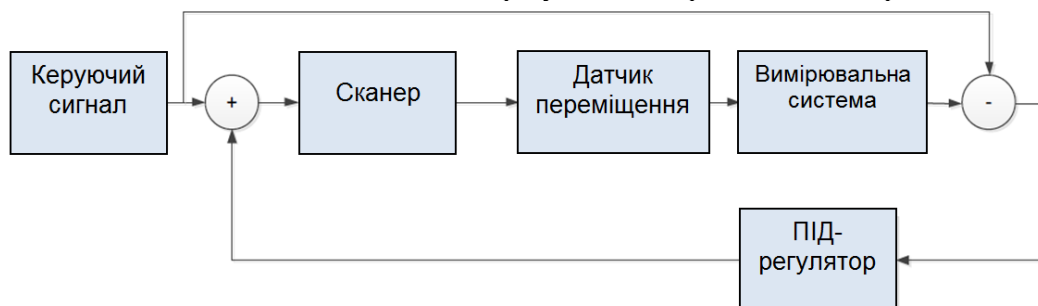


Рис. 4. Загальна схема системи автоматичного регулювання переміщення сканера СЗМ

Велике значення в поліпшенні параметрів приладу має вдосконалення методів математичної обробки інформації, одержуваної в результаті вимірювань в СЗМ.

Важливим завданням обробки інформації в СЗМ є підвищення дозволу математичними методами. Якщо дозвіл приладу СЗМ є недостатнім, то і його застосування в ряді областей аналізу буде неякісним. Проте, якщо вимірювання в СЗМ доповнити математичною обробкою, то можна підвищити дозвіл приладу, тобто, з позицій метрології, підвищити точність вимірювань і тим самим поліпшити якість діагностики матеріалів або речовини.

Відновлення безперервного двовимірного сигналу за вимірюваним сигналом і відомої апаратної функції приладу сучасними математичними методами є перспективним напрямком розвитку СЗМ. Відмінність вимірюного сигналу від істинного проявляється в більшому згладжуванні його в порівнянні з істинним сигналом і в його зашумленості (слабкі інформаційні параметри «тонуть» в шумі).

Висновки. В результаті аналізу сучасних датчиків переміщень був вибраний ємнісний датчик переміщень із змінним зазором між обкладками. Методом вимірювання інформаційного сигналу цього датчика є метод вимірювання часу розряду/заряду конденсатора. На основі обраного методу були проаналізовані можливі похибки і створені обмеження на геометричні параметри ємнісного датчика для забезпечення точності в поставленому завданні. Виходячи з параметрів точності і швидкодії, обрана методика вимірювання малих переміщень сканера СЗМ підходить для застосування в задачах постобробки зображення і включення в ланцюг зворотного зв'язку системи регулювання переміщення сканера.

Розроблена методика вимірювань і обробки інформації здатна відстежити ефекти кріпу, гістерезису та інших нелінійностей п'єзокераміки. Вона не залежить від впливу температурних шумів, ефектів зміни параметрів сканера в часі. При цьому похибки вимірювання лінійних розмірів об'єктів в СЗМ-зображеннях знижені до 1,2 нм за рахунок усунення нелінійностей сканера.

Інформаційні джерела

1. Айфичер Э., Джервис Б., Барри У., Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2004. – 989 с.
2. Bhushan B. Scanning probe microscopy in nanoscience and nanotechnology. Heidelberg: Springer, 2010. – 710 p.
3. Быков В.А., Лазарев М.И., Саунин С.А. Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности // Электроника: наука, технология, бизнес. 1997. №5. С. 7–14.
4. 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 / “Перспективні технології та прилади”. Збірник статей. Випуск 17. м. Луцьк, грудень 2020 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. – С. 33–41.
5. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
6. Манойлов В.В., Михайлов М.М. Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования сканеров СЗМ // Научное приборостроение. 2013. Т. 23, № 2. С. 38–46.
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Нижний Новгород: Российская академия наук. Институт физики микроструктур, 2004. – 114 с.

Денисюк В.Ю., к.т.н.

Луцкий национальный технический университет

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СКАНЕРА СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА

В статье представлены результаты исследований пьезоэлектрического сканера для прецизионных механических перемещений в сканирующем зондовом микроскопе с емкостными датчиками перемещения и методами обработки изображений. Обоснован выбор емкостного датчика с переменным зазором между обложками благодаря высокой точности и чувствительности, простой и дешевой конструкции, а также минимальными нелинейными искажениями, вносимыми в работу СЗМ. Оценка параметров управления, полученная с помощью математической модели СЗМ, позволила спроектировать ПИД-регулятор, обеспечивающий прецизионное перемещение с заданной точностью. Разработанная методика измерений и обработки информации способна отследить эффекты крипа, гистерезиса и других нелинейностей пьезокерамики. Она не зависит от воздействия температурных шумов, эффектов изменения параметров сканера во времени.

Ключевые слова: пьезоэлектрический сканер, сканирующий зондовый микроскоп, зонд, емкостный датчик, точность, управление, сигнал, ПИД-регулятор.

V. Denysiuk

Lutsk National Technical University

SYSTEM OF AUTOMATIC ADJUSTMENT OF PRECISIONAL MOVEMENT OF THE SCANNER OF THE SCANNING PROBE MICROSCOPE

The article presents the results of studies of a piezoelectric scanner for precision mechanical movements in a scanning probe microscope with capacitive displacement sensors and image processing methods. The choice of a capacitive sensor with a variable gap between the covers, due to high accuracy and sensitivity, simple and cheap design, as well as minimal nonlinear distortions introduced into the SPM. Estimation of control parameters, obtained using a mathematical model of SPM, allowed to design a PID controller that provides precise mechanical movement with a given accuracy. The developed method of measurement and information processing is able to track the effects of dill, hysteresis and other nonlinearities of piezoceramics. It does not depend on the influence of temperature noise, the effects of changing the parameters of the scanner over time.

Keywords: piezoelectric scanner, scanning probe microscope, probe, capacitive sensor, accuracy, control, signal, PID controller.

УДК 633.356.8 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-8

Дубчак Н. А. к.т.н., доцент

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

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРҒАНУ ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Підвищення продуктивності машин та зниженню втрат цукроносної маси коренеплодів при відокремленні гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу гички та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички за умови дотримання якісних показників процесу збирання цукрових буряків.

На підставі розробленої математичної моделі процесу безкопінного зрізу обґрунтовано методу визначення оптимальної висоти зрізу з мінімальними агротехнічно допустимими втратами цукроносної маси для різних агрофізичних характеристик посівів, гички та коренеплодів.

На підставі аналізу літературних джерел, алгоритму синтезу конструкцій, теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано параметри і режими робочого органу для відокремлення залишків гички.

Ключові слова: коренеплід, головка коренеплоду, гичка, відокремлення гички, робочий елемент, математична модель безкопінного зрізу.

Постановка проблеми. Важливою операцією при збиранні цукрових буряків є відокремлення гички. Наявність гички у сировині цукрових буряків погіршує процес різання стружки з коренеплодів. Низька якість стружки та азотисті речовини гички знижують вихід цукру під час цукроваріння.

У результаті вивчення літературних джерел і вимог стандартів виявлено наступні суперечності процесу збирання цукрових буряків:

- існує несумісність за робочими швидкостями між машинами для відокремлення гички та машинами для викопування коренеплодів: якісне відокремлення гички можливе шляхом копінного зрізу з наступним доочищенням залишків на коренеплодах при швидкості поступального руху не більше 1,5 м/с, тоді як коренезбиральні машини працюють при швидкостях більших в 1,2...1,5 рази;

- застосуванням безкопінного зрізу основної маси гички з наступним пасивним дообрізанням головок коренеплодів з рештками гички можна досягти швидкості 2 м/с, але при цьому втрачається до 8% цукроносної маси, що перевищує вимоги стандарту;

- машини для безкопінного зрізу можуть працювати при швидкості поступального руху до 4 м/с, що перевищує швидкість процесу викопування коренеплодів, але оптимальна висота зрізу науково не обґрунтована та відсутні конструкції робочих органів, що здатні відокремлювати рештки гички на швидкості понад 1,5 м/с.

Подолання цих суперечностей шляхом обґрунтування оптимальної висоти безкопінного зрізу гички та розроблення нового робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички дасть змогу знизити втрати цукроносної маси та підвищити робочу швидкість машин для відокремлення гички, що є актуальним науковим і виробничим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності машин для відокремлення гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички.

Мета досліджень. Зменшення втрат цукроносної маси коренеплодів і підвищення продуктивності машин для відокремлення гички шляхом оптимізації висоти безкопінного зрізу та обґрунтування конструкції і параметрів робочого органу для доочищення головок коренеплодів від решток гички.

Результати досліджень. Теоретичні дослідження процесу відокремлення гички шляхом безкопінного зрізу проводилися із використанням методів теорії ймовірності, математичної статистики, диференціального та інтегрального числення. Математична модель функціонування робочого органу розроблялася за допомогою методів теоретичної механіки, диференціального та інтегрального числення.

При відомій відстані від вершини до основи зелених листків можна визначити діаметр циліндра гички. За відомим законом розподілу висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту та функціональними залежностями параметрів головки і гички від висоти виступання головок коренеплоду можна описати закономірності розподілення їх мас відносно поверхні ґрунту. Це уможливило побудову математичної моделі технологічного процесу безкопійного зрізу гички з подальшим обґрунтуванням оптимальної висоти зрізу.

Залежності параметрів головки коренеплоду та гички мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} h_{\zeta\bar{e}} &= a \cdot h + b; \\ d_1 &= m \cdot h + n; \\ d_{\zeta\bar{e}} &= d_1 + 2 \cdot h_{\zeta\bar{e}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $h_{\zeta\bar{e}}$ – відстань від вершини головки до основи зелених листків; h – висота виступання головки;

d_1 – діаметр вершини головки коренеплоду;

$d_{\zeta\bar{e}}$ – діаметр пучка гички;

a – половина кута конусності головки;

a, b, m, n – постійні величини.

Аналізуючи розміщення коренеплодів відносно поверхні ґрунту, виділено шість груп характерного розташування гички та головок коренеплодів.

Аналітичні залежності для визначення розташування коренеплоду і гички відносно поверхні ґрунту, проходження площини зрізу відносно вершини головки та основи зелених листків, висот зрізу головки і гички, об'ємів втрат цукронової маси та залишків гички.

Втрати цукронової маси та залишки гички для коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначаємо за формулою:

$$M_i = F(h_i; h_3) \cdot P(h_i; h_{i+1}) \cdot N_i, \quad (2)$$

де $F(h_i; h_3)$ – втрати цукронової маси або залишки гички, для коренеплоду

$F(h_i; h_3) = V_k \cdot \rho$, для гички $F_c(h_i; h_{3c}) = V_c \cdot \rho_c$,

де V_k, ρ і V_c, ρ_c – відповідно об'єм і густина коренеплоду та гички;

N_i – кількість коренеплодів заданого інтервалу на одиниці площі;

$P(h_i; h_{i+1})$ – ймовірність появи даного інтервалу висот виступання головок коренеплодів, що визначається за формулою:

$$P(h_i; h_{i+1}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{h_i}^{h_{i+1}} \exp\left(-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}\right) dh \quad (3)$$

Інтеграл у виразі 3 не визначається в квадратурах, тому ймовірність появи коренеплодів заданого інтервалу висот виступання визначимо чисельним інтегруванням за формулою Сімпсона. Просумувавши залишки гички та втрати цукронової маси для всіх інтервалів висот виступання, отримаємо сумарні залишки гички та втрати цукронової маси на одиниці площі:

$$BM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_{\zeta}\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (4)$$

$$GM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F_c\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_{\zeta c}\right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h)\right) \right], \quad (5)$$

де m – кількість інтервалів: $m = 2U$; $U=1,2,3,4,\dots$;

c_j – коефіцієнт при значеннях підінтегральної функції у відповідних точках,

$c_j = 1,2,3,4,2,4,\dots,2,4,1$.

Основними конструктивно-технологічними параметрами ОГК з горизонтальною віссю обертання та шарнірно закріпленими радіальними очисними елементами є радіус осі підвісу r , конструктивна довжина ОЕ l_k та кількість ОЕ z . Раціональні значення цих параметрів залежать від технологічного показника максимальної висоти виступання головок коренеплодів над рівнем ґрунту після зрізу. Використовуючи розрахункові схеми знайдено залежність між конструктивними параметрами ОГК і максимальною висотою виступання головок коренеплодів:

$$l_k = \Delta h + b_k; \quad R = r + l_k; \quad z = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{(\Delta h + 2b_k)}{2(R - \Delta h - b_k)}\right)} \quad (6)$$

Кінематичними параметрами ОГК є поступальна швидкість руху V_n , кутова швидкість обертання ротора ω та кількість взаємодій ОЕ з коренеплодом k . В залежності від висоти виступання головки коренеплоду кількість взаємодій визначається за формулою:

$$k = \omega \cdot z \left(\sqrt{2Rh - h^2} + 0,5d_1 \right) / \pi \cdot V_n. \quad (7)$$

Очевидно, що частина взаємодій буде направлена у зону головки, де розміщені зелені листки. Решта взаємодій буде направлена у нижню частину головки коренеплоду, втратить частково кінетичну енергію, а потім буде взаємодіяти із зоною зелених листків. Ефективність таких взаємодій буде значно нижчою. Рациональну кількість взаємодій k_p визначимо з виразу:

$$k_p = k - k_3, \quad (8)$$

де k_3 – кількість взаємодій із зоною зелених листків.

$$k_\zeta = \omega \cdot z \left(\sqrt{2Rh_\zeta - h_\zeta^2} + 0,5d_{\zeta\bar{\zeta}} \right) / \pi \cdot V_n, \quad (9)$$

де $h_3 = h - h_{3d}$.

Звідси, рациональна кількість взаємодій:

$$k_\delta = \frac{\omega \cdot z}{\pi \cdot V_n} \left(\sqrt{2Rh - h^2} - \sqrt{2Rh_\zeta - h_\zeta^2} + 0,5(d_1 - d_{\zeta\bar{\zeta}}) \right). \quad (10)$$

$$\alpha = \arctg \left(\frac{(y_{o2} - y_p) / (x_{o2} - x_p) - y_{o2} / x_{o2}}{1 + x_{o2} (y_{o2} - y_p) / (x_{o2} - x_p) \cdot y_{o2}} \right). \quad (11)$$

Складові залежності рівності мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\varphi} &= \frac{V_i^2 \cdot R^2}{R_1 \left(R^2 - (V_i t - \sqrt{2Rh - h^2})^2 \right)^{2/3}}; \\ M_K &= N_K (a + f_1 b); \\ M_L &= \left(\frac{m\omega^2 r \cdot l \sin \alpha - J \cdot \ddot{\alpha}}{d + f_e} \right) (d_1 + f_{p1}); \\ M_G &= G \cdot c \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де J, J_K – моменти інерції відповідно лопаті та копіра відносно точок підвісу;

R_1 – відстань від центра копіра до точки підвісу;

c, a, b, d_1, p_1 – відповідно плечі сил G, N_K, F_K, N_L, F_L відносно осі підвісу копіра;

d, e – плечі сил нормальної реакції та сил тертя копіра і ОЕ відносно його осі підвісу.

При русі копіра по головці можливе вибивання з ґрунту та пошкодження коренеплоду. Умовою невибивання коренеплоду є:

$$N_e \leq \frac{[P_A]}{\sin \alpha_1 + f \cos \alpha_1}, \quad (13)$$

де $[P_T]$ – гранична горизонтальна складова сили зв'язку коренеплоду з ґрунтом; α_1 – кут між віссю Oy та силою N_K .

Залишки гички на коренеплодах, %:

$$W = -1,9899 + 0,0054 \cdot n - 0,2344 \cdot V_n - 0,0086 \cdot n \cdot V_n - 2,9025 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 3,1644 \cdot V_n^2. \text{ Пошк} \\ \text{одження коренеплодів, \%}$$

$$V = -17,8620 + 0313 \cdot n + 2,2856 \cdot V_n - \\ -0,0026 \cdot V_n \cdot n - 6,0725 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 0,3704 \cdot V_i^2. \quad (14)$$

Вибивання коренеплодів, %:

$$Z = 5,38 + 0,0037n - 4,44V_n + 0,0015V_n \cdot n + \\ + 8,9 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 0,8956V_i^2. \quad (15)$$

Інтервали оптимальних режимів роботи ОГК: поступальна швидкість руху машини $V_n = 1,9...2,0$ м/с та частота обертання ротора $n = 850...970$ хв⁻¹.

Висновки. Встановлено, що розмірно-масові характеристики коренеплодів і гички функціонально залежать від висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Висота виступання головок коренеплодів описується нормальним законом розподілу. Максимальний діаметр коренеплодів знаходиться нижче рівня ґрунту. Отже, існують передумови для створення математичних моделей коренеплодів, гички та посівів. Машини для безкопірного зрізу можуть працювати при швидкості поступального руху до 4 м/с, але недостатньо обґрунтовано технологічні параметри процесу. Найпростішими та функціонально придатними є очисники головок коренеплодів з горизонтальною віссю обертання, що встановлена перпендикулярно або під кутом до рядків. Дотичне навантаження до головки коренеплоду є найбільш раціональним при відокремленні решток гички, що обумовлює необхідність створення відповідного робочого органу.

Розроблено математичну модель процесу відокремлення основної маси гички шляхом безкопірного зрізу та алгоритм, що дозволяє визначити оптимальну висоту встановлення гичкорізального апарату над рівнем ґрунту відповідно до мінімально допустимих втрат цукроносної маси та агрофізичних характеристик посівів і коренеплодів. В результаті досліджень виявлено, що для існуючих агрофонів ($\sigma = 10...30$ мм, $m = 40...60$ мм) головки коренеплодів повинні зрізатись не вище 60 мм відносно рівня ґрунту.

Встановлено функціональні залежності діаметра вершини коренеплоду та висоти зони зелених листків від висоти виступання головок коренеплодів. Визначено, що твердість поверхні гички на відстані 0...5 мм від головки коренеплоду лише на 20...30% відрізняється від твердості поверхні головки коренеплоду у зоні зелених листків та сплячих вічок і майже дорівнює твердості вершини головки. Це свідчить про обмежені можливості способу відокремлення гички за властивостями міцності без пошкодження тіла коренеплоду.

Інформаційні джерела

1. Гурченко О. П., Барановський В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1995. № 81. С. 57–60.
2. Барановський В. М., Соломка В. О., Онищенко В. Б. Вибір параметрів при конструюванні гвинтового конвеєра. *Вісник ХДТУСГ*. 2001. Т. 8(2). С. 209–215.
3. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи адаптації транспортно-очисного комбінованого робочого органу коренезбиральних машин. *Сільськогосподарські машини*. 2005. Вип. 13. С. 18–24.
4. Барановський В. М. Конструктивно-технологічні принципи застосування адаптивного викопувального робочого органу коренезбиральних машин. *Науковий вісник НАУ*. 2005. № 73(1). С. 249–255.
5. Барановський В. М., Паньків М. Р., Дубчак Н. А. Очисна система вороху коренеплодів. *Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2007. № 1(59). С. 33–36.

Дубчак Н.А. к.т.н., доцент

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

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ГИЧКИ САХАРНЫХ СВЕКЛОВ

Повышение производительности машин и снижение потерь сахароносной массы корнеплодов при отделении ботвы путем оптимизации высоты бескопирного среза ботвы и обоснование конструкции и параметров рабочего органа для доочистки головок корнеплодов от остатков ботвы при условии соблюдения качественных показателей процесса сбора сахарной свеклы.

На основании разработанной математической модели процесса бескопирного среза обоснована методика определения оптимальной высоты среза с минимальными агротехнически допустимыми потерями сахароносной массы для различных агрофизических

© Дубчак Н. А. к.т.н., доцент

характеристик посевов, ботвы и корнеплодов.

На основании анализа литературных источников, алгоритм синтеза конструкций, теоретических и экспериментальных исследований обоснованы параметры и режимы рабочего органа для отделения остатков ботвы.

Ключевые слова: корнеплод, головка корнеплода, ботвы, отделение ботвы, рабочий элемент, математическая модель бескопирного среза.

Dubchak N.A.

Outreach from the National University of Bioresources and Environmental Protection of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS AND PARAMETERS OF WORKING BODY FOR SEPARATION OF SUGAR BEETS

Increasing the productivity of the machine and reducing the loss of sugar mass of roots during the separation of the tuber by optimizing the height of the copyless cut of the tuber and substantiation of the design and parameters of the working body for cleaning the heads of roots from the rest of the tuber provided quality indicators of sugar beet harvesting.

Based on the developed mathematical model of the process of copyless cutting, the method of determining the optimal height of the cut with the minimum agrotechnically permissible losses of sugar mass for different agrophysical characteristics of crops, buds and roots is substantiated.

Based on the analysis of literature sources, the algorithm of synthesis of structures, theoretical and experimental studies, the parameters and modes of the working body for the separation of the remnants of the hyphae are substantiated.

Key words: root crop, root head, bud, branch separation, working element, mathematical model of copyless cut.

УДК 633.356.4

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-9

Дубчак Н. А. к.т.н., доцент

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

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТОВО-ЕЛІПСНОГО ОЧИСНИКА БУРЯКОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Вирішено наукової задачі покращення якості очищення коренеплодів цукрових буряків від домішок шляхом розробки конструкції гвинтово-еліпсного робочого органу, виконаного у вигляді системи поздовжніх еліпсних вальців, розміщених по малій осі півеліпса, які створюють жолоб робочого русла. На основі проведених теоретичних досліджень обґрунтовані раціональні конструктивно-кінематичні параметри очисника та розроблено методу визначення його основних параметрів і продуктивності. Результати досліджень використовуються проектно-конструкторськими організаціями при розробці коренезбиральних машин.

Ключові слова: коренеплоди, технологічний процес, сепарація, гвинтово-еліпсний очисник, конструктивно-технологічні параметри, продуктивність, показники якості роботи.

Постановка проблеми. Однією з передумов подолання кризової ситуації у сільському господарстві України є подальший розвиток машинобудування, який сприяє зростанню продуктивності праці, підвищенню ефективності виробництва та покращенню якості продукції і вимагає принципово нових підходів до розробки високоефективних прогресивних технологій збирання сільськогосподарської продукції.

Відомі сучасні машини для збирання цукрових буряків задовільно працюють лише на легких незабур'ячених ґрунтах, в той час на середніх і важких ґрунтах в умовах підвищеної або зниженої вологості якість їх роботи не відповідає агротехнічним вимогам - загальна кількість домішок у зібраному вроші перевищує 25%. Це пояснюється використанням недосконалих робочих органів для очищення вороху коренеплодів, які недостатньо подрібнюють грудки землі та не відокремлюють її від поверхні тіла коренеплодів, при цьому разом із зібраним урожаєм (250 ц/га) з поля вивозиться близько 3% родючого ґрунту. В сухий період збирання кількість ґрунту, вивезеного з поля разом із коренеплодами, збільшується в 5-10 разів.

Одним із способів підвищення якості очищення коренеплодів цукрових буряків є удосконалення технологічного процесу сепарації домішок шляхом застосування гвинтово-еліпсного очисника за рахунок використання додаткового ефекту осцилюючого руху коренеплодів й домішок на його робочих поверхнях в вертикальній площині відносно їх осевого переміщення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Дослідженню технологічних процесів і робочих органів сепарації вороху коренеплодів із визначенням їх конструктивно-кінематичних параметрів присвячені праці видатних вчених П.М. Василенка, Л.В. Погорілого, В.М. Булгакова, Б.М. Гевка, Б.П. Шабельника.

Аналіз роботи відомих очисних систем коренезбиральних машин показав, що найвищу сепаруючу та грудкоруйнуючу здатність за мінімальних пошкоджень коренеплодів в порівнянні з іншими робочими органами, забезпечують гвинтово-еліпсні очисники за рахунок ефекту додаткового осцилюючого руху вороху по очисних поверхнях еліпсних вальців. Основою для подальшого виконання досліджень є виявлення потенційних можливостей нового очисника та визначення раціональних параметрів його роботи.

Мета досліджень. Метою досліджень є підвищення якості очищення коренеплодів цукрових буряків шляхом розробки конструкції та вибору раціональних параметрів очисної системи залежно від умов роботи з використанням гвинтово-еліпсного очисника.

Результати досліджень. Обґрунтовано технологічний процес сепарації вороху цукрових буряків і основні конструктивно-кінематичні параметри гвинтово-еліпсного очисника на основі аналізу його розрахункової продуктивності та дослідження характеру співудару коренеплодів із робочими поверхнями очисника. На цій підставі вперше одержано: математичну модель залежності зміни відносної швидкості та швидкості нормального зближення коренеплоду від кутових параметрів вальця; аналітичні залежності для визначення граничних меж кутової швидкості обертання еліпсних вальців. Одержано емпіричні залежності регресійних рівнянь, що характеризують зміну забрудненості, втрат і пошкодження коренеплодів цукрових буряків,

відповідно від усередненого діаметра, зазору між гвинтовими еліптичними вальцями та вологості ґрунту. Розроблено інженерну методику розрахунку основних параметрів очисника.

Одним із важливих задач визначення кінематичного режиму очищення коренеплідів від домішок є встановлення раціональних параметрів руху коренеплоду на етапах його переміщення вздовж елементів очисної системи.

$$\begin{aligned} V_{on} &= -V_o (\cos \alpha_T \cos \beta + \sin \alpha_T \sin \beta) = -V_o \cos(\beta - \alpha_T); \\ V_{ob} &= 0; \\ V_{ot} &= V_o (\cos \alpha_T \sin \beta - \cos \beta \sin \alpha_T) = V_o \sin(\beta - \alpha_T), \end{aligned} \quad (1)$$

де V_{on}, V_{ob}, V_{ot} - відповідно нормальна та тангенційні складові швидкості, м/с; V_o - початкова швидкість коренеплоду, м/с; α_T, β - відповідно кут нахилу траєкторії польоту коренеплоду та гірки, град.

Після контактної взаємодії коренеплід відскакує від полотна, набувши нових значень складових лінійних і кутових швидкостей обертання, при цьому визначено проекції нормальної складової швидкості коренеплоду V_1 після зворотного повороту системи $Onbt$ в початковий стан:

$$\begin{aligned} V_{1x} &= k_g V_o \cos(\alpha_T - \beta) \sin \beta - V_o \sin(\alpha_T - \beta) \cos \beta - (\Delta \omega_{ob} r_k - V_z) \cos \beta; \\ V_{1y} &= \Delta \omega_{ot} r_k; \\ V_{1z} &= k_g V_o \cos(\alpha_T - \beta) \cos \beta + V_o \sin(\beta - \alpha_T) \sin \beta - (\Delta \omega_{ob} r_k - V_z) \sin \beta, \end{aligned} \quad (2)$$

де k_g - коефіцієнт відновлення швидкості; ω_{ob}, ω_{ot} - проекції вектора кутової швидкості обертання коренеплоду ω_o , рад/с; r_k - радіус коренеплоду, м.

На основі аналізу результатів комп'ютерного розв'язку рівнянь (2) визначено діапазон зміни середніх значень швидкостей співудару V_x, V_z коренеплоду (0,9-1,8 м/с) після контакту з полотном гірки від втрати його кутової швидкості ω_o .

Після відскоку від гірки коренеплід знаходиться у вільному польоті. Його початкова швидкість згідно (2) має складові V_{1x}, V_{1z} . Значення складових швидкості V_2 в момент зіткнення коренеплоду з рифом вальця залежить від сили тяжіння g (заданих параметрів зони зміщення за висотою Δz) та довжиною Δx , яка регулюється взаємним розміщенням транспортера та першого еліптичного вальця

$$V_{2x} = V_{1x}; V_{2z} = V_{1z} - g \left(\frac{V_{1z}}{g} + \sqrt{\frac{V_{1z}^2}{g^2} + \frac{2\Delta z}{g}} \right). \quad (3)$$

В процесі скочування коренеплоду його швидкість V_c частково гаситься втратами на тертя, при цьому $V_c < V_2$, яку має вільно падаючий коренеплід. З умови непошкодження коренеплідів вибрано випадок, коли швидкість коренеплоду $V_k = V_2$. Коренеплід, перед взаємодією з рифом вальця очисника (рис.3), зовнішня заокруглена частина якого являє собою частину циліндричної поверхні, вісь якої є гвинтовою лінією, має певну швидкість

$$V_k = V_x \cdot \bar{i} + V_y \cdot \bar{j} + V_z \cdot \bar{k}, \quad (4)$$

де $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ - відповідні одиничні вектори швидкостей, при цьому гвинтову вісь в параметричній формі описано рівняннями

$$x_\tau = -R_y \cdot \cos(\tau + \tau_0); y_\tau = T \cdot \tau / 2\pi; z_\tau = R_y \cdot \sin(\tau + \tau_0), \quad (5)$$

де R_y, T - відповідно радіус і крок вальця, м; τ - кутовий параметр гвинтової лінії; τ_0 - початкове значення параметру τ , що відповідає куту перетину гвинтової лінії з площиною Oxz .

Оскільки вальці обертаються з кутовою швидкістю ω_g , то параметр τ_0 змінюється в часі, тобто $\tau_0 = \omega_g \cdot t$. Перший валець обертається в напрямку гірки, в системі координат Oxz його кутова швидкість від'ємна, тобто $\omega_1 = -\omega_g$.

Якщо розглянути проекцію гвинтової лінії (вісі) на площину Oxz (рис.4), то кожна точка поверхні з кутовим параметром гвинтової лінії τ в даний момент часу t має колове розміщення ψ і визначається координатами

$$\psi = \tau - \omega_e t; \quad \varphi = \xi + \xi_o + \xi_x, \quad (6)$$

де ξ - кутовий параметр поверхні, що вказує на розміщення довільної точки профілю в нормальному перерізі; ξ_o - початковий кут виміру параметру ξ ; ξ_x - кут, що враховує кручення осі профілю в просторовому розміщенні.

В момент контакту центр ваги коренеплоду, центральна частина якого являє собою сферу радіусом r_k , знаходиться на нормалі до поверхні рифа в точці контакту $E(\psi_e, \varphi_e)$. Визначено швидкість точки E в місці контакту

$$\begin{aligned} \bar{V}_E &= \frac{dx(\psi_1, \varphi_1)}{dt} \bar{i} + \frac{dy(\psi_1, \varphi_1)}{dt} \bar{j} + \frac{dz(\psi_1, \varphi_1)}{dt} \bar{k} = \\ &= [-(R_z - r \cos \varphi_e) \sin \psi_e + r \sin \alpha \sin \varphi_e \cos \psi_e] \omega_e \bar{i} - \\ &- [(R_z - r \cos \varphi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \varphi_e \sin \psi_e] \omega_e \bar{k}, \end{aligned} \quad (7)$$

де r, R_z - радіус заокруглення і висота рифа до центра радіуса заокруглення, м.

Звідси умова контакту з рифом полягає в тому, що коренеплід знаходиться на віддалі $\rho = r + r_k$ від осі гвинтової лінії, а кутові параметри ψ_e та φ_e точки контакту E - в певних межах: $\varphi_{\min} < \varphi_e < \varphi_{\max}$ та $\psi_{\min} < \psi_e < \psi_{\max}$. Крім цього, контакт в напрямку осі Oy забезпечується відповідним поворотом вальця в часі.

Визначено відносну швидкість V_e точки контакту коренеплоду з рифом вальця, при цьому траєкторія падіння коренеплоду на риф вальця направлена під кутом γ до горизонту.

$$\begin{aligned} \bar{V}_e &= \{V_\kappa \cos \gamma + [(R_z - r \cos \varphi_e) \sin \psi_e - r \sin \alpha \sin \varphi_e \cos \psi_e] \omega_e\} \bar{i} - \\ &- \{V_\kappa \sin \gamma - [(R_z - r \cos \varphi_e) \cos \psi_e + r \sin \alpha \sin \varphi_e \sin \psi_e] \omega_e\} \bar{k}; \end{aligned} \quad (8)$$

Для забезпечення нормального режиму роботи гвинтово-еліпсного очисника необхідно виконання умов:

$$Q_o \geq Q_z; Q_{e.g} \geq Q'_z \geq Q_z / k_{cen.g},$$

де $Q_o, Q_{e.g}$ - відповідно продуктивність очисника та гвинтового конвеєра, м³/с; Q_z, Q'_z - відповідно кількість вороху, що надходить із підкопуючих робочих органів коренезбиральної машини до очисника та до еліпсного гвинтового конвеєра, м³/с; $k_{cen.g}$ - коефіцієнт сепарації вороху на шляху його переміщення до гвинтового конвеєра.

Тоді з врахуванням (10) продуктивність гвинтово-еліпсного очисника дорівнює:

$$Q_o \geq Q_{e.g} / k_{cen.g} \geq F_{3.g} V_n k_{V_0} k_3 / k_{cen.g}, \quad (9)$$

де $F_{3.g}$ - площа поперечного перерізу вороху, який заповнює робочий простір гвинта, м²; V_n - поступальна швидкість переміщення вороху рифами вальців, м/с; k_{V_0} - коефіцієнт зниження поступальної швидкості переміщення вороху V_n порівняно з теоретичною осьовою швидкістю вальців; k_3 - коефіцієнт заповнення міжвиткового простору гвинта.

Визначено продуктивність еліпсного гвинтового конвеєра з врахуванням конструктивних особливостей очисника

$$Q_{e.g} = F_{3.o} V_n k_{V_0} (1 - F_{n.o} / F_{3.o})^2, \quad (10)$$

де $F_{3.o}, F_{n.o}$ - загальна площа поперечного перерізу відповідно очисника та гвинтового конвеєра, який заповнюється ворохом, м³.

$$Q_o = \frac{0,25}{\pi k_{cen.g}} \left\{ R_k^2 \left[\pi \arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} / 90 \right] - \sin 2 \left[\arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} \right] \right\} T \omega_e k_{V_0} k_p^2 k_{3.o..mkc}^2 \quad (11)$$

де R_k - радіус півеліпса, м; d_y, T, ω_g - відповідно усереднений діаметр труби; крок, м; кутова швидкість обертання еліпсного вальця, рад/с; h - зазор між валами, м; k_p - коефіцієнт, який враховує об'єм, що займають рифи вальців.

Тоді верхню допустиму межу кутової швидкості обертання еліпсного вальця визначено виходячи з умови, що результуюча (сумарна) швидкість співудару $V_{c.p}$ коренеплоду (ударної дії на коренеплід) не повинна перевищувати максимально допустимої швидкості співудару $V_{доп.макс}$, за якої коренеплоди не отримують пошкоджень, що не перевищують межу вихідних вимог (рис.8).

В зв'язку з цим

$$|\bar{V}_{c.p}| = |\bar{V}_c| + |\bar{V}_g| + |\bar{V}_z| \leq \bar{V}_{доп.макс}, \quad (12)$$

при цьому визначено

$$V_{c.p.y'} = V_g \sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + V_c \cos \beta \sin \alpha'_n - V_z \cos \beta \sin \alpha'_n; \quad (13)$$

$$V_{c.p.x'} = V_g \cos(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + V_c \cos \beta \cos \alpha'_n - V_z \cos \beta \cos \alpha'_n, \quad (14)$$

де α'_n, β - відповідно, кут нахилу поверхні співудару (гвинтової лінії) та кут встановлення гірки до горизонту, град.

Дотичний ударний імпульс викликає фрикційну взаємодію коренеплоду з поверхнею рифа, результатом якої є обдирання шкірки поверхні тіла коренеплоду. Тому, ввели обмеження, що основні пошкодження коренеплодів при їх співударі з рифом еліпсного вальця виникають за дії нормальної складової сумарної результуючої швидкості співудару, при цьому її значення не повинно перевищувати допустимої результуючої сумарної швидкості співудару при прямому центральному ударі, тобто:

$$V_{c.p.y'} = V_g \sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}) + V_c \cos \beta \sin \alpha'_n - V_z \cos \beta \sin \alpha'_n \leq V_{доп.макс}. \quad (15)$$

$$V_g \leq \frac{V_{доп.макс} - \cos \beta \sin \alpha'_n (V_c - V_z)}{\sin(\alpha'_n + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2})}. \quad (16)$$

З врахуванням (17) і (18) визначено максимально допустиму кутову швидкість обертання еліпсного вальця гвинтово-еліпсного очисника

$$\omega_{в.макс} \leq \frac{4 [V_{доп.макс} - (V_c - V_z) \cos \beta \sin(45^\circ - 0,5\varphi_k)]}{\sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \sin [(45^\circ - 0,5\varphi_k) + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}]}, \quad (17)$$

де φ_k - кут тертя ковзання коренеплоду по гвинтовій поверхні, град.

Таким чином, для еліпсного вальця, усереднений діаметр якого $D_y = 0,18$ м, верхня межа кутової швидкості обертання вальця ω_g знаходиться в межах $\omega_g = 15,0 - 17,0$ рад/с для $V_z = 1,2$ м/с та $\beta = 55^\circ$. Ці межі максимально-допустимі й за яких можна очікувати, що механічні пошкодження коренеплодів не перевищують регламентовані значення вихідних вимог.

Мінімально допустиму кутову швидкість обертання еліпсного вальця $\omega_{в.мін}$ визначено із необхідної продуктивності очисника, яка не допускає "згружування" вороху на очиснику, при цьому чисельний розв'язок (20) дозволив визначити нижню межу кутової швидкості обертання еліпсних вальців $\omega_{в.мін} = 10,3$ рад/с ($k_{сен.в} = 0,3$) і $\omega_{в.мін} = 12,5$ рад/с ($k_{сен.в} = 0,5$) для значення їх усередненого діаметра $D_y = 0,18$ м,

Із рівняння (13) одержано:

$$\omega_{в.мін} = \frac{Q'_3 k_{сеп.в}}{0,08 k_{з.о.макс}^2 \left(\left\{ R_k^2 \left[\pi \arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} / 90 \right] - \sin 2 \left[\arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} \right] \right\} \right) T k_{v_0} k_p^2}. \quad (18)$$

Для характерних умов роботи коренезбиральної машини та встановленої допустимої верхньої межі кутової швидкості обертання еліпсного вальця визначено максимальну продуктивність гвинтово-еліпсного очисника $Q_{о.макс}$, при цьому $k_{сеп.в} = 0,3; 0,5; 0,7$; $\omega_{в.макс} = 15,0 - 17,0$ рад/с. Після відповідних перетворень виразів (13), (19) отримано:

$$Q_{о.макс} = 0,5 \frac{k_{з.о.макс}^2}{k_{сеп.в}} \left(\left\{ R_k^2 \left[\pi \arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} / 90 \right] - \sin 2 \left[\arcsin \frac{2(d_y + h)}{R_k} \right] \right\} \right) \times \times \frac{V_{макс.дон} - (V_c - V_z) \cos \beta \sin(45^\circ - 0,5\varphi_k)}{\sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2} \sin[(45^\circ - 0,5\varphi_k) + \arcsin T / \sqrt{\pi^2 D_y^2 + T^2}]} T k_{v_0} k_p^2. \quad (19)$$

Коли коефіцієнт сепарації вороху $k_{сеп.в} = 0,5$, максимальна продуктивність забезпечується при $D_y > 0,15$ м і кутовій швидкості обертання еліпсних вальців $\omega_{в} \geq 15,0$ рад/с при фіксованих інших основних конструктивно – кінематичних параметрів гвинтово-еліпсного очисника, тобто кроку вальця $T = 0,25$ м; висоти рифа еліпсного вальця $H = 0,03$ м; коефіцієнта заповнення $k_{з.о.макс} = 0,8$; радіуса півеліпса $R_k = 0,59$ м.

На основі експериментальних даних, проведеного ПФЕ 3², одержано рівняння регресії в натуральних величинах, які характеризують зміну втрат, пошкодження й забруднення коренеплодів залежно від зміни усередненого діаметра і величини зазору між валами:

$$k_B = 11,15 - 0,004D_y - 0,745h - 0,005D_y h + 0,005h^2; \quad (20)$$

$$k_{II} = 2,42 - 0,003D_y - 0,071h + 0,001D_y h + 0,003h^2; \quad (21)$$

$$k_3 = 30,36 - 0,007D_y - 0,745h - 0,0001D_y h + 0,005h^2. \quad (22)$$

Аналіз рівнянь регресії показує, що факторами, які істотно впливають на параметри оптимізації є: втрати й забруднення коренеплодів - зазор між валами h ; пошкодження – усереднений діаметр еліпсних вальців D_y і зазор між валами h .

Із збільшенням зазору між валами від 0,035 до 0,042 м спостерігається поступове зростання втрат і пошкодження коренеплодів, відповідно від 0,7 і 2,9% ($h = 0,035$ м) до 1,45 і 3,3% ($h = 0,042$ м) та поступове зменшення відсотка забруднення коренеплодів – від 11,1% ($h = 0,035$ м) до 7,1% ($h = 0,042$ м) при $D_y = 0,2$ м. Подальше збільшення зазору між валами, веде до істотного приросту параметрів оптимізації k_B і k_{II} – при $h = 0,045$ м втрати коренеплодів значно перевищують допустиму межу - до 1,5% згідно вихідних вимог, а пошкодження коренеплодів становлять 4,6%, при $h = 0,055$ м - 7,9%. Із подальшим збільшенням зазору між валами спостерігається значне зменшення забруднення коренеплодів – для $h = 0,04$ м забруднення становить 6,3%, а для $h = 0,06$ м - 4,5%.

Висновки. Технологічний процес очищення вороху цукрових буряків із застосуванням традиційних шнекових і турбінних очисників не забезпечує ефективної сепарації і не відповідає вихідним вимогам - за високої вологості шнеки залипають ґрунтом і втрачають працездатність; турбінні очисники - ефективно працюють лише при великих кутах нахилу роторних турбін, що значно обмежує їх застосування. Вдосконалення технологічного процесу очищення вороху буряків від домішок без розробки нових конструктивних схем практично вичерпало себе в забезпеченні підвищення якості очищення коренеплодів.

Максимальна продуктивність гвинтово-еліпсного очисника забезпечує продуктивність викопувальної частини коренезбиральної машини з коефіцієнтом сепарації вороху $k_{сеп.в} = 0,5$; $D_y > 0,15$ м; кутовою швидкістю обертання еліпсних вальців $\omega_{в} \geq 15,0$ рад/с за таких

параметрів: кроку вальця $T = 0,25$ м; висоти рифа $H = 0,03$ м; $k_{з.о.макс} = 0,8$; радіуса півеліпса $R_k = 0,59$ м.

Інформаційні джерела

1. Паньків М.Р. Транспортно-сепаруючі робочі органи бурякозбиральних машин // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 7.- Ред.-вид. відділ ЛДТУ, Луцьк, 2000.- С. 108-115.
2. Паньків М.Р. Результати експериментальних досліджень кулачкових очисних робочих органів бурякозбиральних комплексів // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка")- Луцьк: ЛДТУ,- 2001.- С. 204-211.
3. Паньків М.Р. Теоретичні передумови переміщення коренеплодів транспортерами // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2001. – Т.6, №3. – С. 79-83.
4. Паньків М.Р., Гевко І.Б. Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником // Наук. вісник Національного аграрного університету. Вип. 49, - 2002. – С. 253-262. (Особистий внесок – одержала емпіричні залежності регресійних рівнянь і поверхонь відгуку, що характеризують зміну забрудненості, втрат і пошкодження коренеплодів цукрових буряків від усередненого діаметра та зазору між гвинтовими еліпсними вальцями).
5. Паньків М.Р., Гевко І.Б. Кінематичний режим роботи гвинтово-еліпсного сепаратора // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Вип.17, - 2003. – С.197-203.

Дубчак Н.А. к.т.н., доцент

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

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВО-ЭЛЛИПСНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ МАШИН

Решена научная задача улучшения качества очистки корнеплодов сахарной свеклы от примесей путем разработки конструкции винтово-эллипсного рабочего органа, выполненного в виде системы продольных эллипсных вальцов, размещенных по малой оси полуэллипса, которые создают желоб рабочего руслу. На основе проведенных теоретических исследований обоснованы рациональные конструктивно-кинематические параметры очистителя и разработана методика определения его основных параметров и производительности. Результаты исследований используются проектно-конструкторскими организациями при разработке корнеуборочных машин.

Ключевые слова: *корнеплоды, технологический процесс, сепарация, винтово-эллипсный очиститель, конструктивно технологические параметры, производительность, показатели качества работы.*

Dubchak N.A. k.t.n., dotsent

Outreach from the National University of Bioresources and Environmental Protection of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

PRIMED CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN THE GWINT-ELIPSNOGO EQUIPMENT OF BURYAKOZHIRNYKH MACHINES

The scientific tasks of reducing the quality of clearing the root crops of red beetles from the houses of the hatch of the rosette of the design of the screw-elipsy robotic organ, which were found in the systems and later Russian young walnut trees, later On the basis of carrying out theoretical adjustments, the rational constructive-cinematic parameters of the purifier were developed, and the methodology of determining the main parameters and productivity was broken down. The result is that we are ready to use design and engineering organizations for the development of rooted machines.

Keywords: *root-crops, technological process, separation, gwint-elipsny purifier, constructive-technological parameters, productivity, indicators of robotic quality.*

УДК 006.06

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-10

Карась В.І., Драган А.П.

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ В ВИРОБНИЦТВІ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

У даній статті розглянуто проблемні питання експлуатації і утилізації електробатарей для електротранспорту в Україні. Розглядаються перспективи розвитку електротранспорту в цілому та його джерел живлення зокрема в умовах відсутності розгалуженої інфраструктури, а саме обладнаних стоянок і зарядних станцій. Особлива увага звернена на якість акумуляторних батарей, що забезпечується згідно вимог гармонізованих національних стандартів, та їх погодження з правилами і нормами міжнародних стандартів. Їх виробництво не можливе без застосування та впровадження інноваційних технічних і технологічних розробок, які тісно пов'язані з процесом впровадження міжнародних стандартів. Без впровадження гармонізованих міжнародних стандартів неможливо досягнути швидкої динаміки розвитку будь-якого виробництва акумуляторних батарей. Стандартизація дає можливість вдосконалювати технічні характеристики акумуляторних батарей, технологічні процеси їх виготовлення і експлуатації та встановлює норми безпеки і захисту навколишнього середовища під час їх утилізації.

Ключові слова: стандарт, електротранспорт, електрозаправочні станції, нормативний документ, національна стандартизація, міжнародна стандартизація, гармонізований стандарт, акумуляторні батареї.

Вступ. Розвиток світової економіки сприяє зростанню валового об'єму продукції та вимагає додаткових засобів для її транспортування. Використання автопарку значно підвищує рівень атмосферного забруднення. З метою зменшення викидів відпрацьованих газів вчені пропонують переходити на використання електротранспорту який швидко стає альтернативою автомобілям з двигунами внутрішнього згорання, як для пасажирських перевезень так і для транспортування вантажів.

Постановка проблеми. Вдосконалені технічні розробки та науково-обґрунтовані пропозиції в галузі електричних видів автомобільного транспорту дають можливість створювати нові машини на базі електричних двигунів, які поступово стають заміною двигунам з традиційними джерелами енергії. Всім відомо, що здатність електромобіля здолати певний шлях залежить не від кількості бензину в баку, а від відсотка заряду акумулятора (батареї). Основними недоліками електробатарей є їх досить висока вартість та недостатня ємність, а також відсутність інфраструктури. Зниження ціни батарей та розгалуження мережі їх зарядки – це основа для подальшого розвитку електротранспорту. Важливим питанням стає пошук нових джерел енергії для зарядних станцій та впровадження інноваційних методів зарядки.

Однак зростання виробництва електробатарей може спричинити нову проблему для екології, а саме, шкідливими для навколишнього середовища є технології переробки відпрацьованих батарей. Проблема утилізації літій-іонних батарей, які найбільше застосовуються в електротранспорті, вимагає негайного вирішення.

Аналіз актуальних досліджень. Питання використання та виготовлення акумуляторних батарей електромобілів, досліджували ряд українських науковців: С.О. Кудря, В.Б. Павлов, В.В. Каплун, В.О. Новський, П.Ф. Васько, П.Д. Лежнюк, С.В. Войтко, а також закордонні вчені: Ф.О. Исмаилов, Лі Вонг (Li Wong), Ньян Лін Аунг (Nyan Linn Aung). Проте, зважаючи на бурхливий розвиток електротранспорту, багато питань залишаються не вирішеними.

Мета статті. Аналіз стану процесів виробництва акумуляторних батарей для електромобільного транспорту в Україні і світі. Аналіз впливу виробництва та утилізації електробатарей на навколишнє середовище, а також ролі національної і міжнародної стандартизації в розвитку електротранспорту.

Матеріал досліджень. Аналізуючи розвиток виробництва електромобілів у світі, можна зробити висновок, що в сучасних умовах модернізація цього напрямку машинобудування стає рушійною силою в економічному розвитку кожної країни. Основна перевага електротранспорту є його екологічність. Хоча нові дослідження вчених німецьких фірм Volkswagen і Mercedes-

benz вказують на те, що виготовлення акумуляторних батарей, які використовуються в електромобілях, може призводити до значних викидів CO₂. Вчені німецького автомобільного клубу ADAC стверджують, що найбільш екологічний автомобіль є на зрідженому газі з домішками біогазу. Але всі ці дослідження стали тільки конкурентним поштовхом для подальшого вдосконалення технологічних процесів виробництва акумуляторних батарей та покращення екологічної безпеки їх виготовлення і утилізації.

Автори дослідження з британського Інституту Фарадея підрахували, що тільки мільйон електрокарів, проданих протягом 2017 року, за термін своєї служби створять 250 тисяч тон токсичних відходів з акумуляторів. Проблема їх утилізації ускладнюється різноманітністю форм, конструкцій та хімічного складу батарей.

Згідно приведеної діаграми (рис. 1), найбільші перспективи залучення до використання в електротранспорті мають літійові та літій-іонні АКБ, а також паливні елементи, особливо на основі водню. Розвитку цих напрямків сьогодні приділяється багато науково-дослідних та пошукових робіт.

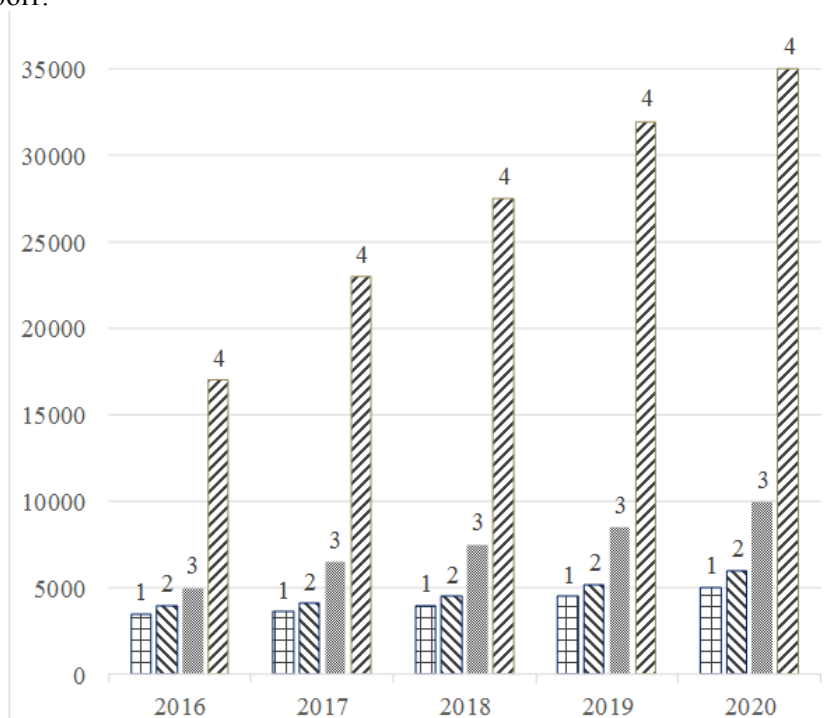


Рис. 1 - Динаміка зростання кількості та прогноз використання акумуляторних батарей, як джерел живлення для різних типів електротранспорту:

- 1 – нікель-металогідридні акумуляторні батареї для гібридних транспортних засобів;
- 2 – літій-іонні акумуляторні батареї для гібридних транспортних засобів;
- 3 – літій-іонні акумуляторні батареї для заряджуваних гібридних та електричних транспортних засобів;
- 4 – літій-іонні акумуляторні батареї для електромобілів та інших видів електротранспорту.

Електрифікований транспортний засіб приводиться в рух електродвигуном, який живиться від акумуляторних батарей, а не від двигуна внутрішнього згорання. Це обумовлює основні переваги електричного транспортного засобу: відсутність шкідливих викидів, нижчі витрати на експлуатацію самого автомобіля, тиха робота, простота конструкції і управління, більш висока довговічність та надійність у порівнянні зі звичайними автомобілями. Однак, до недоліків електричних транспортних засобів варто віднести відносно малий запас ходу та довгий час зарядки батарей.

Аналізуючи проблематику в системі розбудови електротранспорту, необхідно звернути увагу на ключові завдання, які треба вирішити в системі «виробництво-утилізація» акумуляторних батарей (АКБ).

Необхідно покращити робочі характеристики АКБ, з метою збільшення пробігу електротранспорту без додаткової підзарядки.

Визначальною характеристикою для літій-іонних батарей, є вік і число циклів зарядів батареї, тобто скільки разів дану батарею можна заряджати в період експлуатації. Середнє число повних "зарядок" сучасних акумуляторних батарей для електромобілів становить кілька тисяч циклів.

Знизити вартість виробництва і експлуатації АКБ.

Саме високі ціни на батареї тривалий час були головною причиною завищеної вартості електромобілів, щодо транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння. З кожним роком ціни на АКБ, за рахунок нових технологій виробництва, постійно знижуються (див. Рис. 2). Якщо взяти всі батареї для транспорту, включаючи електромобілі, гібриди та іншу мототехніку, то середня вартість в 2020 році становить 137 доларів за кіловат-годину. Для порівняння, в 2010 році така батарея коштувала в середньому 1100 доларів за кіловат-годину. За прогнозом Bloomberg NEF, середня ціна батарей в світі впаде нижче позначки в 100 доларів в 2023 році. У 2020 собівартість батареї на 100 кіловат-годин, якої середньому електромобілю вистачає приблизно на 500 кілометрів шляху, становить 13 тисяч 700 доларів (2). Аналітики відзначають, що зараз темпи зниження вартості батарей сповільнилися. Це пов'язано з нестачею необхідної сировини. Безпосередньо відкритих родовищ хімічних елементів на планеті достатньо, проте для збільшення обсягів їхнього видобутку знадобиться якийсь час.



Рис. 2 - Середньомісячні ціни на акумуляторні літій-іонні батареї (АКБ) для електротранспортних засобів

Потрібно покращити екологічну безпеку при виготовленні і утилізації електробатарей.

Наскільки б не були екологічно чисті електромобілі в експлуатації, це не вирішує проблеми ні утилізації акумуляторів, ні екологічних питань при їх виробництві. На сьогоднішній день жоден з виробників електромобілів не має повноцінної програми вторинної переробки елементів живлення.

Розширити інфраструктуру для зарядки електробатарей.

В цьому питанні ключове місце відводиться державним структурам, які повинні створити законодавчу базу для створення спеціальних паркувальних місць для різних видів електротранспорту та побудови зарядних станцій.

Розглядаючи питання довговічності роботи АКБ та збереження їх експлуатаційних характеристик необхідно звернути увагу на дотримання норм експлуатації і зберігання паливних елементів.

Для продовження терміну служби АКБ необхідно підвищити ефективність експлуатації батарей, а саме:

- по перше не потрібно чекати повної розрядки акумуляторної батареї до нульової відмітки, а постійно підзаряджати її при будь-якому рівні зарядки;

- по друге зарядку необхідно проводити при передбаченій нормативно встановленій температурі від +1 до +40°C;

-по третє дотримуватись оптимального температурного режиму роботи транспортного засобу в межах 10-30°C;

-по четверте зберігати АКБ в сухому місці при температурі від 0°C до 10°C з рівнем зарядки в межах 45-60%.

Важливо, щоб не допускалось помилок нормативно-технічного протоколу з обміну інформацією між електромобілями та станціями зарядки АКБ, і між ними був присутній постійний зв'язок при якому електромобіль «розповідає» зарядній станції, в якому технологічному режимі він хоче заряджатися, яка температура АКБ, який рівень її зарядки та чи присутні пошкожені комірки.

Якщо технічний діалог не підтримується, а зарядна станція видаватиме іншу ніж потрібну потужність, то за певний період часу батарея стане не придатною до експлуатації.

Будь-яка акумуляторна батарея повинна відповідати певним умовам - вазі, габаритам і потужності електромобіля. Тому кожен вид акумуляторів має свої особливості та характеристики, які ми зараз розглянемо.

Літій-іонні акумулятори - це основний тип батарей, які сьогодні використовуються в електромобілях. Найбільша перевага Li-Ion акумуляторів - найкраще співвідношення енергії до маси, швидкості зарядки та числа циклів заряду - розряду батареї. Менша вага батареї збільшує дистанцію на одній підзарядці та продуктивність, і в той же час надає автомобілю кращу керованість.

Алюміній-іонні батареї це нове покоління батарей. Використання при виробництві акумуляторів алюмінію дозволяє підвищити безпеку експлуатації батареї і знизити її собівартість. Але зараз наукові дослідження в даному напрямку знаходяться поки на початковому рівні і вимагають серйозних інвестицій.

Літій-сірчані акумулятори є одним з перспективних напрямків наукових розробок. В теорії літій-сірчані батареї володіють більшою енергетичною щільністю, ніж літій-іонні акумулятори. Але їх використання в електротранспортних засобах обмежується малим числом циклів заряду/розряду, що є неприйнятним для виробників електричних видів транспорту.

Метал-повітряні акумулятори також знаходяться на стадії проектних розробок та наукових досліджень. Основною перевагою метал-повітряних батарей є їхня вага. Як метал для виробництва батарей використовують літій, цинк або алюміній, а роль катода виконує повітряний простір.

Найперспективнішими вважаються акумулятори на основі графену. За допомогою графену покращують властивості батареї, наприклад, додають його до електродів і збільшують їх провідність. Такі акумулятори виходять набагато легші від літій-іонних і не можуть вибухнути. Питома ємність в 5 разів перевищує ємність літій-іонного акумулятора (1000 Вт/год проти 200 Вт/год на 1 кг ваги). Tesla Model S, оснащена графеновою батареєю, може проїхати на одному заряді не 350 км, а 1010 км, і заряджається менш ніж за 10 хвилин.

При всіх своїх чудових характеристиках графенові акумулятори та інші сучасні розробки (наприклад, батареї на основі матеріалів, отриманих з морської води), давно повинні були заповнити ринок. Але виробники продовжують покращувати літій-іонні батареї, а інвестори не бажають вкладати гроші в розробку нових технологій.

Важливим питанням є забезпечення екологічної безпеки при виробництві паливних елементів та їх подальшої утилізації після закінчення терміну експлуатації. На міжнародному рівні розвитку стандартизації, в напрямку забезпечення прискорення виробництва і утилізації АКБ, зараз приділяється особлива увага. Розробка нових нормативних документів в світі стає орієнтиром для впровадження гармонізованих стандартів 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». Але на сьогоднішній день основні світові виробники АКБ так і не мають повноцінної програми вторинної переробки елементів живлення. На даний час є пропозиції та розробки по продовженню терміну служби батарей, які можуть використовуватись ще декілька років як стаціонарні накопичувачі енергії для приватного чи комерційного житла, офісу, торговельного центру. Також можуть слугувати прискорювачами заряду на зарядних станціях, де немає великої потужності, під час заряджання електротранспорту.

В Україні 6 серпня 2019 року Президент підписав Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій

для електромобілів" [1]. Закон дозволить забезпечити захист прав водіїв транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, надати доступ до зарядних станцій для електромобілів, удосконалити та наблизити до європейських стандартів відносини у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху, збільшити завантаженість роботи діючих зарядних станцій для електромобілів і створити більше можливостей для подальшої розбудови інфраструктури та мережі зарядних станцій для електромобілів.

Всі законодавчі ініціативи тісно пов'язані з міжнародними нормативними документами. Впровадження стандартів розроблених міжнародними організаціями із стандартизації сприяє розвитку зарядної інфраструктури електромобілів, а саме ДСТУ EN 62196-2:2019 який визначає типи електричних роз'ємів і режими зарядки електромобілів. Цей гармонізований стандарт розроблений на базі міжнародного стандарту EN 62196-2:2017. 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, який визначає типи електричних роз'ємів і режими зарядки електромобілів [13].

Згідно даних маркетингового агентства IRS Group, станом на жовтень 2020 року кількість електрзарядних станцій в Україні становить 8529 об'єктів. Протягом року їх кількість збільшилася майже на 50% (див. таблицю 1). Аналізуючи дані таблиці можемо зробити висновок, що з кожним роком зростає кількість електрзарядних станцій та пунктів зарядки АКБ.

Таблиця 1 – Кількість зарядних станцій і пунктів зарядки АКБ

Роки	Зарядні станції	Пункти зарядки	В середньому кількість пунктів зарядки на станції
2016	394	713	1,81
2017	962	1768	1,84
2018	1867	3696	1,98
2019	2808	5092	2,17
2020	3582	8529	2,38

Фактично зараз в основному використовуються електрзарядні станції трьох типів: звичайної зарядки змінним струмом, прискореної зарядки змінним струмом та швидкої зарядки постійним струмом. Кожна з них має свої характеристики, а саме потужність, час та рівень зарядки.

Тому на електрзарядних станціях збільшується кількість пунктів зарядки різної модифікації, для обслуговування електротранспорту різних марок, що значно розширює можливості роботи зарядних станцій та покращує якість обслуговування власників електротранспорту. Коли в 2010 році на зарядних станціях було, як правило не більше одного пункту зарядки, то в 2020 році більше як два місця для зарядки, а в перспективі їх кількість буде збільшуватися.

Висновки. Розвиток електротранспорту напряму залежить від модернізації виробництва акумуляторних батарей, їх експлуатації і утилізації. При цьому потрібно виконати декілька основних умов, щоб добитись покращення ефективності роботи електротранспорту. По-перше, знизити вартість одного з найдорожчих елементів електромобіля – батареї. Її здешевлення – найкоротший шлях до доступного електротранспорту. По-друге, для того, щоб електрифікований транспорт купували, повинна бути створена розгалужена мережа зарядних станцій, для підзарядки електробатарей. По-третє при виробництві батарей необхідно постійно покращувати їх якісні показники, а саме підвищення енергетичної щільності, тобто кількості енергії на одиницю маси акумулятора, та забезпечити умови для безпечного використання електробатарей. По-четверте постійно слідкувати за рівнем зарядки джерела живлення і дотримуватись правил їх експлуатації згідно вимог нормативних документів, що значно покращує довговічність роботи АКБ та впливає на збільшення запасу ходу електротранспорту без підзарядки.

Для забезпечення безвідмовної роботи системи "електротранспорт-електробатарея" потрібно постійно впроваджувати нові технологічні розробки, технічні новинки при виробництві нових АКБ. Впровадження новітніх технологій та розробок тісно взаємопов'язано з процесом введенням в дію міжнародних та державних стандартів. Впровадження гармонізованих державних нормативних документів дає можливість добитись динаміки зростання виробництва акумуляторних батарей.

Стандартизація є невід'ємною частиною процесу конструювання, виробництва і експлуатації акумуляторних батарей, та встановлює норми на безпеку і захист навколишнього середовища під час їх утилізації.

Інформаційні джерела:

1. Закон України Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів. : Закон України від 11 липня 2019 р. №2754-VIII. Відомості Верховної ради України. 2019 , №32. 125 с.
2. Будько В.І. Використання енергії сонячного випромінювання та вітру для зарядження електромобілів: Дис. д-ра. тех. наук : 05.14.08. Київ.2019. 302с.
3. 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, IDT) [діє від 01.10.2016] Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 31с.
4. ДСТУ EN 60285:2016 Акумулятори та батареї лужні вторинні. Герметизовані нікель-кадмієві циліндричні одиночні акумулятори, що перезаряджаються (EN 60285:1994, IDT) [діє від 01.11.2016] Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 42с.
5. ДСТУ EN 61951-1:2017 Акумулятори та акумуляторні батареї, що містять лужні чи інші некіслотні електроліти. Переносні автономні герметичні перезаряджувані акумулятори. Частина 1. Нікель-кадмієві акумулятори (EN 61951-1:2014, IDT) [діє від 10.07.2017] Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2017. 54с.
6. ДСТУ ІЕС 60623:2015 Акумулятори й батареї, що містять луги та інші кислотні електроліти. Елементи акумуляторні поодинокі негерметичні нікель-кадмієві призматичні, що перезаряджаються (ІЕС 60623:2001, IDT) [діє від 01.01.2016] Київ: ДП «УкрНДНЦ»,. 2016.-45с.
7. ДСТУ EN 60254-1:2019 Батареї акумуляторні свинцево-кислотні тягові. Частина 1. Основні вимоги та методи випробування (EN 60254-1:2005, IDT; ІЕС 60254-1:2005, IDT) [діє від 01.01.2020] Київ: ДП «УкрНДНЦ»,. 2019. 61с.
8. ДСТУ EN 62196-2:2019 Вилки, розетки, транспортні з'єднувачі та вводи. Провідність зарядження. Частина 2. Сумісність розмірів і вимоги взаємозамінності штиря та трубчастого виводу пристосувань для змінного струму (EN 62196-2:2017, IDT; ІЕС 62196-2:2016, IDT) [діє від 01.01.2020] Київ: ДП «УкрНДНЦ»,. 2019. 56с.
9. EN 60622:2003 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Sealed nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells.
10. EN 60285:1994 Alkaline secondary cells and batteries. Sealed nickel-cadmium cylindrical rechargeable single cells.
11. N 61951-1:2014 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes - Portable sealed rechargeable single cells - Part 1: Nickel-cadmium.
12. EN 60254-1:2005 Lead acid traction batteries — Part 1: General requirements and methods of tests.
13. EN 62196-2:2017 Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles — Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories.
14. ІЕС 60623:2001 Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes — Vented nickel-cadmium prismatic rechargeable single cells.

Карась В.И., Драган А.П.

ОП НУБиП Украины «Бережанский агротехнический институт»

РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В данной статье рассмотрены проблемы эксплуатации и утилизации электробатарей для электротранспорта в Украине. Рассматриваются перспективы развития электротранспорта в целом и его источников питания в частности в условиях отсутствия разветвленной инфраструктуры, а именно оборудованных стоянок и зарядных станций. Особое внимание уделено качеству аккумуляторных батарей, которое обеспечивается согласно требованиям гармонизированных национальных стандартов, и их согласованию с

правилами и нормами международных стандартов. Их производство невозможно без применения и внедрения инновационных технических и технологических разработок, которые тесно связаны с процессом внедрения международных стандартов. Без внедрения гармонизированных международных стандартов невозможно добиться быстрой динамики развития любого производства аккумуляторных батарей. Стандартизация позволяет усовершенствовать технические характеристики аккумуляторных батарей, технологические процессы их изготовления и эксплуатации и устанавливает нормы безопасности и защиты окружающей среды при их утилизации.

Ключевые слова: стандарт, электротранспорт, нормативный документ, национальная стандартизация, международная стандартизация, гармонизированный стандарт, аккумуляторные батареи.

Karas V.I., Drahan A.P.

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

RECHARGEABLE BATTERIES FOR ELECTRIC VEHICLES AND STANDARDIZATION OF THEIR PRODUCTION, OPERATION AND DISPOSAL

The article reveals the problems of operation of electric batteries and electric vehicles in Ukraine. Prospects for the development of electric vehicles as part of energy sources in the conditions of an extensive network infrastructure, as well as regional parking lots and charging stations are envisaged. Going deeper into the relationship between the system "electric car-battery", we feel that the movement of electric cars from a source of energy, namely from an electric battery, their duration and reliability during operation. Particular attention is paid to the important role of the quality of batteries, which is ensured in accordance with the requirements of harmonized national standards and their compliance with the rules and regulations of international standards. Their production is not possible without the application and implementation of innovative technical and technological developments that work closely with the implementation of international standards. Without the introduction of harmonized international standards, it is not possible to achieve rapid dynamics of development of any production of batteries. Standardization makes it possible to improve the technical characteristics of batteries, technological processes of their manufacture and operation and sets standards for safety and environmental protection during their disposal.

Key words: standard, electric transport, normative document, national standardization, international standardization, harmonized standard, rechargeable batteries.

УДК 629.114.2 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-11

¹Є.І. Калінін, ²А.І. Коробко, ³В.Є. Шатіхіна

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

²Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого, Харківська філія

³Харківський національний автомобільно-дорожній університет

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВТРАТИ АДЕКВАТНОСТІ ПРИ ФОРМУВАННІ МОДЕЛІ ВИПРОБУВАНЬ

Анотація. Основною метою роботи є синтез кількісної оцінки втрат адекватності під час використання немодельного впливу в випробуваннях систем. В ході досліджень встановлено, що міра неадекватності опису системи при класичному модельному експерименті була б обчислена як математична міра віддалення векторів величин самої системи і її опису, тобто міра неадекватності опису є число. Використання міри, таким чином, вводить в множину допустимих впливів відношення переваги. При цьому, як можна простежити, враховуються динамічні властивості досліджуваної системи, характер модельного (нездійсненого) впливу, обмежене призначення математичної моделі і, нарешті, обмежені можливості випробувального устаткування. У загальному випадку пошук являє собою варіаційну задачу, в найпростішому випадку – дослідження функції на екстремум.

Ключові слова: динамічні випробування, система, вплив, варіаційна задача, пошук.

Вступ. Відомо декілька методів раціоналізації експерименту. Основним методом є теорія подібності, що дозволяє вивчати явище в змінених масштабах, що в кінцевому підсумку здешевлює експеримент. Платою за вигоду буває втрата адекватності умов в експерименті відносно природи. Причина втрати адекватності криється в обмеженості апріорних математичних моделей, спираючись на які, застосовують теорію подібності. Оцінка втрати адекватності при переході від природи до експерименту в даний час у величезній більшості випадків не проводиться, хоча повсюдно велика увага приділяється масштабам подібності, якими, власне, і займається класична теорія подібності. Такий стан може бути пояснено частково тим, що оцінка втрати адекватності виходить за рамки теорії подібності і відноситься до імітації. Теорія імітації, на нашу думку, ще не оформилася у вигляді більш-менш самостійного розділу науки, проте роботи, зміст яких може бути витлумачено як спроби кількісно оцінити втрати адекватності при відхиленнях від вимог теорії подібності, з'являються як у вітчизняній, так і в закордонній науковій літературі. Потік таких робіт швидко зростає, особливо останні роки. Цей факт говорить про те, що повсюдно зростає потреба доводити немодельний експеримент як допустимий прийом досліджень, якщо проведена кількісна оцінка втрати адекватності. Простий аналіз практики моделювання призводить до висновку про те, що завжди порушуються умови, які передбачені теорією подібності, і, таким чином, теорія подібності завжди виливається в практику імітації.

Відомі роботи, де обговорюються питання формування збурень для ідентифікації систем. Завдання ідентифікації ширше завдання випробувань, і тому в роботах з ідентифікації обговорюється і питання, що розглядається. Серед таких робіт слід згадати [1], де розглянуто вибір вхідного сигналу для ідентифікації вектору параметрів, що лінійно входить в вагову функцію системи, або для уточнення за параметрами наближено відомої вагової функції. У даній роботі завдання розглянуте в статистичній постановці, і на вибір вхідного сигналу обмеження не накладаються. В роботі [2] вхідні впливи на системи оцінюються за погрешностями ідентифікації при наявності перешкод. У цьому сенсі різні сигнали виявляються суттєво нерівноцінними, що дозволяє автору шукати оптимальну послідовність випробувальних впливів. Результати [2] виявляють можливість будувати оптимальну стратегію ідентифікації в умовах імітації. Однак в [2] не враховується зовсім натуральний вплив, що робить задачу ідентифікації надмірно широкою для випробувань в умовах імітації.

Серед інших робіт, де вивчається відмінність у вхідних випробувальних сигналах, можна вказати [3, 4, 5, 6].

Зупинимось на спробі кількісно оцінити втрату адекватності при використанні немодельного впливу в випробуваннях систем. Необхідність в такій оцінці особливо потрібна при широкому застосуванні випробувальних стендів, нездатних відтворити модельний вплив, але таких, що відтворюють вплив з деякого певного сімейства. Широко поширені, наприклад, гальмівні стенди для оцінки тягово-динамічних характеристик тракторів, де безліч стандартних впливів не включає в себе модельний вплив. В цьому випадку потрібно серед допустимих впливів вибрати такий (такі), яке забезпечить мінімальну (з можливих) втрату адекватності.

Метою статті є спроба по-іншому формалізувати задачу вибору впливів і намітити шляхи її розв'язку. В основі наших побудов використовуються поняття функціонального моделювання. Нехай A_0 – апріорна математична модель випробуваної системи. Ця модель відома до експерименту і має вигляд оператора A_0 , який зв'язує вектор x впливів і вектор реакції (траєкторії) y системи, тобто: $A_0(y)=x$ або $y = A_0^{-1}(x)$.

Результати дослідження. Метою будь-яких випробувань є експериментальне визначення ступеня (міри) неадекватності моделі A_0 і натуральної системи A .

Крім математичної моделі (1), введемо перелік розрахункових параметрів $\varphi_i(y), i = \overline{1, n}$. Нехай ці параметри цікавлять дослідника в першу чергу; вони розраховуються на базі математичної моделі A_0 і вони ж будуть спостерігатися в експерименті. Прикладами можуть служити максимуми показників елементів системи або інтеграли від них. З математичної точки зору φ_i є функціоналами, що визначені на траєкторіях системи. За змістом введення функціоналів φ_i ясно, що міру неадекватності тих чи інших умов слід визначати, порівнюючи вектори $\varphi_i = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$, що обчислені в цих умовах. Нехай, далі U , є множиною допустимих (стендових) впливів і $u \in U$. Будемо вважати, що математична модель $u(t)$ стендового впливу досить точна. Натурний (або модельний) вплив задається досить точною математичною моделлю $v(t)$ (t – час). Однак, згідно з метою нашого завдання, $v(t) \notin U$, тобто подобу впливів в експерименті не може бути досягнуто. Необхідна імітація.

Якщо A_0 – є математична модель системи, то $y(A_0, v)$ – математична модель траєкторії системи при модельному впливі $v(t)$. При цьому, передбачені значення параметрів φ_i позначимо як $\varphi_i(y(A_0, v))$, а весь вектор φ як $\varphi(y(A_0, v))$. Для стислості запишемо цей вектор як $\varphi(A_0, v)$. Отже, $\varphi(A_0, v)$ є математичною моделлю вектору $\varphi(A, v)$, отриманого в експерименті з реальною системою A (або з її моделлю) і з модельним впливом $v(t)$. Таким чином, міра неадекватності опису A_0 системи A при класичному модельному експерименті була б обчислена як математична міра ρ віддалення векторів $\varphi(A, v)$ і $\varphi(A_0, v)$, тобто міра неадекватності опису A_0 є число $\rho(\varphi(A, v), \varphi(A_0, v))$.

Часто вживаються, наприклад, міри:

$$\begin{aligned} \rho_1(\varphi^{(1)}, \varphi^{(2)}) &= \sum_{i=1}^{i=n} (\varphi_i^{(1)} - \varphi_i^{(2)})^2; \\ \rho_2(\varphi^{(1)}, \varphi^{(2)}) &= \sum_{i=1}^{i=n} |\varphi_i^{(1)} - \varphi_i^{(2)}|; \\ \rho_3(\varphi^{(1)}, \varphi^{(2)}) &= \max_i \{|\varphi_i^{(1)} - \varphi_i^{(2)}|\}. \end{aligned} \quad (1)$$

При наших обмеженнях в експерименті можна спостерігати тільки вектори $\varphi(A, u)$ і $u \in U$. Природно, що порівнювати ці вектори для обчислення міри неадекватності можна тільки з векторами $\varphi(A_0, u)$. Отже, математично задача найкращої імітації в даному випадку зводиться до найкращої апроксимації величини $\rho(\varphi(A, v), \varphi(A_0, v))$, що не спостерігається, величиною $\rho(\varphi(A, u), \varphi(A_0, u))$.

З «нерівності трикутника» для міри ρ в просторі векторів φ отримуємо оцінку

$$|\rho(\varphi(A, v), \varphi(A_0, v)) - \rho(\varphi(A, u), \varphi(A_0, u))| \leq \rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u)) + \rho(\varphi(A, v), \varphi(A, u)). \quad (2)$$

У правій частині (2) стоять міри неадекватності впливів $u(t)$ і $v(t)$, що обчислені за A_0 і за A відповідно. Припустимо, що, починаючи з деякого рівня близькості A_0 до A , обидва доданки у правій частині оцінки (2) мають властивість:

$$[\rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u_1)) - \rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u_2))] \times \\ \times [\rho(\varphi(A, v), \varphi(A, u_1)) - \rho(\varphi(A, v), \varphi(A, u_2))] \geq 0 \quad (3)$$

де $u_1, u_2 \in U$.

В цьому випадку з (3) випливає, що оцінка (2) на множині U допустимих (стендових) впливів може бути поліпшена, якщо в якості $u(t)$ застосувати вплив $u^*(t) \in U$, що визначається за ознакою

$$\rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u^*)) \equiv \min_{u \in U} \rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u)). \quad (4)$$

Визначення (4) найкращого випробувального впливу є коректним, якщо існує мінімум. Ясно, що для технічних цілей можна замість ознаки (4) застосовувати метод послідовних наближень, де $u^*(t)$ замінюється на $u_{i+1}(t)$, де $u_{i+1}(t)$ має лише властивість виду:

$$\rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A_0, u_{i+1})) < \min_i \{ \rho(\varphi(A_0, v), T(A_0, u_i)) \}. \quad (5)$$

Використання міри ρ , таким чином, вводить в множину допустимих впливів U відношення переваги. При цьому, як можна простежити, враховуються динамічні властивості досліджуваної системи, характер модельного (нездійсненого) впливу, обмежене призначення математичної моделі (φ) і, нарешті, обмежені можливості випробувального устаткування.

У загальному випадку пошук $u^*(t)$ за залежністю (4) являє собою варіаційну задачу, в найпростішому випадку – дослідження функції на екстремум. Розглянемо найпростіший приклад.

Нехай система A і модельний вплив $v(t)$ задаються лівою і правою частинами рівняння

$$\dot{x} + kx = 2pt, \quad x(0) = 0. \quad (6)$$

Тоді розв'язок $x(t)$ рівняння (6) відповідає траєкторії системи при ідеальних модельних випробуваннях. Нехай для простоти прикладу вектор-функціонал φ має тільки одну компоненту, наприклад, $\varphi(A, v) = \int_0^T x(t) dt, T > 1$.

В якості математичної моделі системи A взято найпростіше рівняння $\dot{y} = u(t)$, $y(0) = 0$, а можливості випробувального устаткування нехай обмежені тим, що вплив має вигляд «функції включення» $u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ a, & t \geq 0. \end{cases}$

Множина U задається обмеженнями виду:

$$B_1 \leq a \leq B_2, \quad B_1 = pT, \quad B_2 = 2pT. \quad (7)$$

Тому $\varphi(A_0, u)$ обчислюється на траєкторіях $y = at, B_1 \leq a \leq B_2$. В умовах нашого елементарного прикладу легко випишуються в явному вигляді всі функціонали:

$$\varphi(A, v) = \frac{2p}{k^2} \left(\frac{kT^2}{2} - T + \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right); \quad (8)$$

$$\varphi(A_0, u) = \frac{aT^2}{2}; \quad (9)$$

$$\varphi(A_0, v) = \frac{pT^3}{3}; \quad (10)$$

$$\varphi(A, u) = \frac{a}{k} \left(T - \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right). \quad (11)$$

Нехай мірою неадекватності є міра ρ_1 (в нашому випадку $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$), тобто:

$$\rho(\varphi^1, \varphi^2) \equiv |\varphi^{(1)} - \varphi^{(2)}|. \quad (12)$$

Для пошуку випробувального впливу u^* мінімізуємо міру (12) $\rho(\varphi(A_0, u), \varphi(A_0, v))$ за a з обмеженнями (7), (9) і (10) отримуємо:

$$\rho(\varphi(A_0, u), \varphi(A_0, v)) = T^2 \left| \frac{a}{2} - \frac{p}{3} \right|, \quad a^* = pT. \quad (13)$$

Таким чином, в рекомендованому експерименті буде спостерігатися функціонал

$$\varphi(A, u^*) = \frac{pT}{k} \left(1 - \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right), \quad (14)$$

в той час як передбачено буде значення:

$$\varphi(A_0, u^*) = \frac{pT^3}{2}. \quad (15)$$

Отже, при рекомендованій імітації міра неадекватності, що отримана експериментально, дорівнює числу

$$\rho(\varphi(A_0, u^*), \varphi(A, u^*)) = pT \left| \frac{T^2}{2} - \frac{1}{k} \left(T - \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right) \right|, \quad (16)$$

в той час, як справжня міра неадекватності моделі A_0 дорівнює

$$\rho(\varphi(A_0, v), \varphi(A, v)) = p \left| \frac{T^3}{3} - \frac{2}{k^2} \left(\frac{kT^3}{2} - T + \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right) \right|. \quad (17)$$

За некерованої імітації вимірюється міра невідповідності у вигляді:

$$\rho(\varphi(A_0, u), \varphi(A, u)) = a \left| \frac{T^2}{2} - \frac{1}{k} \left(T - \frac{1 - \exp(-kT)}{k} \right) \right|, \quad B_1 \leq a \leq B_2. \quad (18)$$

Висновки:

В ході досліджень встановлено, що міра неадекватності опису системи при класичному модельному експерименті була б обчислена як математична міра віддалення векторів величин самої системи і її опису, тобто міра неадекватності опису є число. Використання міри, таким чином, вводить в множину допустимих впливів відношення переваги. При цьому, як можна простежити, враховуються динамічні властивості досліджуваної системи, характер модельного (нездійсненого) впливу, обмежене призначення математичної моделі і, нарешті, обмежені можливості випробувального устаткування. У загальному випадку пошук являє собою варіаційну задачу, в найпростішому випадку – дослідження функції на екстремум.

Список використаних джерел

1. Купрюхин Д.Г. (2008) Анализ надежности (безотказности) отечественных и зарубежных тракторов. М. : ООО «Столичная типография, 96 с
2. Лихачев В.С. (1974) Испытания тракторов: Учеб. пособие для вузов. М. : Машиностроение, 288 с.
3. Калінін Є. І. (2016) Вплив обертання елементів трансмісії як пружної системи на власні коливання. Інженерія природокористування. 24-28
4. Хабардин В.Н. (2009) Определение эффективной мощности двигателя при испытании трактора в тяговом режиме движения с места. Вестник КрасГАУ. 12. 176-179
5. Лебедев А.Т., Калінін Є.І., Шуляк М.Л., & Колеснік І.В. (2016) Аналітична модель повороту трактора з шарнірно-зчленованою рамою. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 173. 161-167.
6. Ovsyannikov S., Kalinin E., & Kolesnik I. (2018) Oscillation process of multi-support machine when driving over irregularities. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 307-317. doi: 10.1007/978-3-030-19756-8_28.

¹Е.И. Калинин, ²А.И. Коробко, ³В.Е. Шатихина

¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

²Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытаний техники и технологий для сельскохозяйственного производства имени Леонида Погорелого, Харьковский филиал

³Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРИ АДЕКВАТНОСТИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МОДЕЛИ ИСПЫТАНИЙ

Основной целью работы является синтез количественной оценки потерь адекватности при использовании немодельного влияния в испытаниях систем. В ходе исследований установлено, что мера неадекватности описания системы при классическом модельном эксперименте была бы вычислена как математическая мера удаления векторов величин самой системы и ее описания, то есть мера неадекватности описания является числом. Использование меры, таким образом, вводит в множество допустимых воздействий отношение преимуществ. При этом, как можно проследить, учитываются динамические свойства исследуемой системы, характер модельного (невыполнимого) воздействия, ограниченное назначение математической модели и, наконец, ограниченные возможности испытательного оборудования. В общем случае поиск представляет собой вариационную задачу, в простейшем случае – исследование функции на экстремум.

Ключевые слова: динамические испытания, система, влияние, вариационная задача, поиск

¹Е. Kalinin, ²А. Korobko, ³В. Shatihina

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

²"Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production", Kharkiv branch

³Kharkiv national automobile and highway University

QUANTITATIVE MEASURE OF LOSS OF ADEQUACY DURING TEST MODEL FORMATION

The main purpose of the work is to synthesize a quantitative assessment of the loss of adequacy when using non-model influence in testing systems. In the course of the research, it was found that the measure of the inadequacy of the description of the system in a classical model experiment would be calculated as a mathematical measure of the removal of the vectors of the values of the system itself and its description, that is, the measure of inadequacy of the description is a number. The use of the measure thus introduces an advantage relation into the set of permissible influences. In this case, as can be traced, the dynamic properties of the system under study, the nature of the model (unfeasible) impact, the limited purpose of the mathematical model and, finally, the limited capabilities of the test equipment are taken into account. In the general case, the search is a variation problem, in the simplest case - the study of a function for an extremum.

Keywords: dynamic tests, system, influence, variational problem, search.

Literatura

1. Kuprjuhin D.G. (2008) Analiz nadezhnosti (bezotkaznosti) otechestvennyh i zarubezhnyh traktorov. M. : ООО «Stolichnaja tipografija, 96 s
2. Lihachev V.S. (1974) Ispytaniya traktorov: Ucheb. posobie dlja vuzov. M. : Mashinostroenie, 288 s.
3. Kalinin Є. І. (2016) Vpliv obertannja elementiv transmisii jak pruzhnoї sistemi na vlasni kolivannja. Inzhenerija prirodokoristuvannja. 24-28
4. Habardin V.N. (2009) Opredelenie jeffektivnoj moshhnosti dvigatelja pri ispytanii traktora v tjagovom rezhime dvizhenija s mesta. Vestnik KrasGAU. 12. 176-179
5. Lebedev A.T., Kalinin Є.I., Shuljak M.L., & Kolesnik I.V. (2016) Analitichna model' povorotu traktora z sharnirno-zchlenovanoju ramoju. Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. 173. 161-167.
6. Ovsyannikov S., Kalinin E., & Kolesnik I. (2018) Oscillation process of multi-support machine swhen driving overir regularities. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport. 307-317. doi: 10.1007/978-3-030-19756-8_28.

Стаття надійшла в редакцію 11.11.2021 р.

УДК 631.358.42

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-12

Ліннік А.Ю. к.т.н.

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

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ГИЧКОЧИСНИХ МАШИН ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Якісне очищення голівки коренеплоду цукрових буряків від гички є одним із важливих факторів, який впливає на подальше викопування, зберігання та переробку коренів на цукор. Оскільки при наявності залишків гички та пошкодженні тіла кореня погіршуються умови зберігання коренеплодів, збільшуються затрати на транспортування сировини та втрати її під час зберігання та переробки слід застосовувати раціональну технологію очистки та відповідні машини. З метою визначення раціональної технології і застосування пристроїв для очищення коренів проведено аналіз існуючих технологій та конструкцій машин для очищення гички з поверхні голівок коренеплодів цукрових буряків виходячи з умов підвищення якості процесу очищення та зниження ступеня пошкодження тіла коренеплоду із урахуванням характеристик посівів – урожайність, засміченість бур'янами, рельєфом поля, тощо. Зосереджено увагу на конструктивних рішеннях очисників для очищення гички буряків на корені та розглянуто ряд конструкційно відмінних очисних пристроїв, визначено особливості роботи кожної конструкції та проведено аналіз якісних показників роботи.

Ключові слова: цукровий буряк, коренеплід, гичка, залишки гички, якість очищення, зчісування, пошкодження.

Постановка проблеми. 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. Сучасний стан механізації процесу збирання коренеплодів цукрових буряків не в повній мірі задовольняє якісні вимоги по підготовці сировини, тому раціональним є дослідження відомих технологій та машин для видалення гички цукрових буряків з метою підвищення якості очищення голівок коренеплодів від залишків гички та зниження ступеня пошкодження коренеплодів.

Аналіз останніх досліджень і 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.

Відомі дослідження показників роботи очисників головок коренеплодів показують, що найбільш ефективно працюють очисники ротаційного типу з комбінованими лопатево-пальцевими робочими органами [4]. Теоретичні дослідження стосуються, в основному, взаємодії жорсткого робочого органу з коренеплодом [5], в той час як еластичні робочі органи забезпечують менше пошкодження головок коренеплодів при достатній якості їх очищення від залишків гички. Тому дослідження в цьому напрямку є актуальними та своєчасними.

Мета досліджень. Метою дослідження є визначення напрямків підвищення якості очищення голівок коренеплодів та зниження ступеня пошкодження коренеплодів цукрових буряків шляхом удосконалення технології видалення гички та конструкції очисних машин.

Результати досліджень. З метою визначення напрямків розвитку технологій та конструкцій машин для очищення коренеплодів від залишків гички необхідно розглянути існуючі способи видалення гички та очистки залишків з поверхні голівки коренеплоду та машини і їх робочі органи, які забезпечують виконання цієї операції. Аналізуючи роботи Л.В. Погорілого, В.М. Булгакова, М.М. Зуєва, Р.Б. Гевка, В.Я. Мартиненка, М.М. Хелемендика, Р.А. Кушпеля, М.Л. Вржеш та ін. встановлено [2-5], що на сучасному етапі при видаленні гички можуть проводитись наступні операції:

- відокремлення основної маси гички шляхом зрізу гички на коренеплоді, що росте, з послідовним копірним дообрізанням голівки коренеплоду;
- виключення шкідливого впливу гички на технологічний процес збирання коренеплодів шляхом транспортування гички у транспортний засіб або подрібнення гички та розподілення її по оброблюваній смузї чи в міжряддях;
- виконання операцій зрізу гички та доочищення голівок коренеплодів одним робочим органом.

Збирання цукрового буряка є досить затратною і довгостороковою сільськогосподарською технологією, яка поєднує цілий ряд операцій, таких як: очистка коренеплодів від гички, викопування коренеплодів, очистка вороху, завантаження і транспортування коренеплодів.

Гичка цукрових буряків виступає складовим компонентом кормового раціону у тваринництві, переважну частину її урожаю – майже 85-90% – можна силосувати, а залишок (10-15%) – згодовувати у свіжому вигляді в період збирання, який триває 30-50 днів. Проте, на сьогоднішній день все більшого поширення набуває спосіб використання гички в якості добрива. Для цього гичка подрібнюється і розкидається на поверхню поля. Таке явище пояснюється незначною кормопридатністю гички у зв'язку з високим вмістом в ній азотистих речовин, а також значним спрощенням конструкції гичкоочищувальних машин, що в свою чергу підвищує надійність роботи машини та значно здешевлює собівартість сировини, при одночасному підвищенні родючості ґрунту.

Якість виконання роботи і продуктивність очисника впливає на якість викопаних коренеплодів, надійність роботи коренезбиральних машин і на продуктивність всього збирального комплексу.

Високий ступінь 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. Необхідна чистота коренеплоду самим зрізом гички не забезпечується [3-6]. Що і є головним недоліком процесу очищення коренеплодів.

Конструктивна та технологічна схема гичковидаляючого апарату в значній мірі залежить від використання гички. Робочий орган очищувача голівок коренеплодів більшості гичкоочищувальних машин представлений двома розділними елементами – обрізуючим та очисним. Для обрізування гички використовуються обрізуючі ножі, розміщені, як правило, перпендикулярно до осі росту коренеплоду на вертикально або горизонтально встановленому валу машини. Додатковою функцією ножа виступає подрібнення основної маси гички і часткове винесення її за межі оброблюваних рядків. Очисний елемент виконує функції заключного доочищення голівки коренеплоду і остаточного винесення подрібненої маси за межі оброблюваних рядків, який може зрізувати, зчісувати чи силою удару оббивати залишки гички з коренеплоду.

Найпоширенішими гичкозбиральними машинами вітчизняного виробництва виступають машини сімейства БМ-6. Машини цього типу призначені для обрізування пучка гички на рівні сплячих вічок з подальшим транспортування гички в транспортні засоби і доочищення голівок коренеплодів. Проте, вони не завжди забезпечують необхідну якість очищення гички та низький ступінь пошкодження коренеплода через недосконалість механізмів індивідуального копіювання голівок коренеплодів, особливо у випадках високого врожаю гички та значних відхиленнях коренеплодів в рядках посівів. Поряд з тим, механізми копіювання висоти росту коренеплодів та їх розміщення відносно осі рядків значно ускладнюють конструкцію машин, що значно позначається на їх надійності, періодичності та кількості технічних обслуговувань, тощо. Для забезпечення необхідного ступеня очистки голівок коренеплодів від залишків гички часто в технологічний процес збирання коренеплодів додатково включаються доочисники голівок коренеплодів сімейства ОГД-6, МБК-6, в яких горизонтальний вал розташований з

невеликим відхиленням від осі рядка, а еластичні робочі елементи мають гвинтовий спосіб кріплення, завдяки чому рослинні залишки збиваються з головок коренеплодів і змітаються з ширини захвату машини на зібрану частину поля. Характерним для даного типу машин є те, що в процесі роботи від ударних навантажень вибиваються коренеплоди, а винесення з технологічної зони залишків гички супроводжується вимітанням ґрунту, що призводить до збільшення енерговитрат на валу машини, ерозії ґрунтів, до збільшення строків збирання врожаю, ведучи за собою зростання ціни сировини, що є економічно невиправданим.

Широкого використання у вітчизняному аграрному виробництві набули гичкоочишувальні машини іноземного виробництва, які подрібнюють гичку та розкидають її по поверхні поля, проте не завжди задовольняють вимоги щодо високоякісного очищення голівок коренеплодів цукрових буряків, особливо при високій врожайності. Такі машини, як правило, обладнані активними обрізуючими пристроями з вертикальною віссю обертання та пасивними дообрізувачами, які в процесі роботи разом із зрізанням гички обрізають частину голівки коренеплоду, що призводить до підвищених втрат цукроносною маси (іноді до 8...10 %), яка залишається у зрізаних голівках, що є економічно невиправданим. Зокрема, В машинах фірм "Itallo Svizzera" (Італія), "WKM" (Нідерланди), "Moreau" (Франція) в якості дообрізувача застосовується схема активний копір – пасивний ніж. На рис. 1 показано схему роботи гичкозбиральної машини фірми "WKM" [3]. Під час роботи шарнірно з'єднаний з рамою барабан 1 перекошується по головках коренеплодів здійснюючи їх копіювання та затягує своїми зубами гичку на пасивний ніж 2, який, піднімаючись на однакову висоту з барабаном, зрізує верхню частину головок коренеплодів разом з гичкою. Зрізана маса подається до шнека 3, що відводить її на сторону. Кінцеве доочищення головок коренеплодів здійснює ротор 4 з еластичними білами. Такі апарати забезпечують якісне зрізування гички лише при малих поступальних швидкостях, оскільки при збільшенні швидкості руху машини відбувається галопування копіюючого різального апарату. Недоліком також є те, що розкидана по полі гичка перешкоджає транспорту, який рухається по полю для періодичного вивантаження коренеплодів і формуванню кагатів.

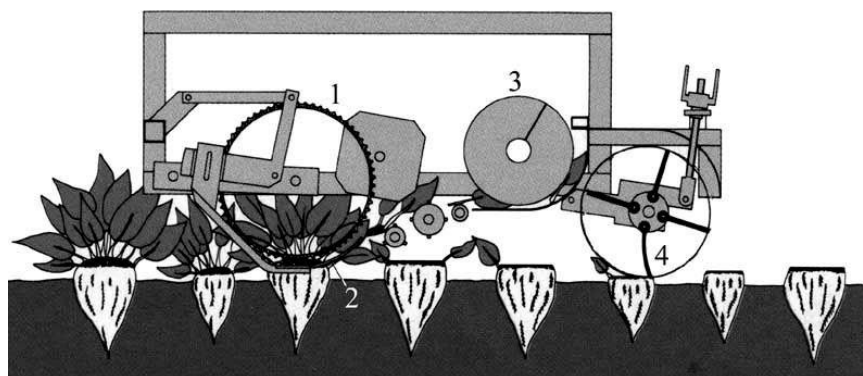


Рис. 1. Схема гичкозбиральної машини фірми "WKM"

Компонувальна схема потужного 6-рядкового самохідного бурякозбирального комбайна SF-10 німецької компанії "Franz Kleine" зображена на рис. 3. Видалення гички з головок коренеплодів машина здійснює в три етапи. На першому етапі ротор-гичкоріз 1 S-подібними ножами зрізує основну масу гички, яка через шнековий транспортер 2 подається на край машини, де лопатями бітера розкидається на зібране поле. Далі ротор 3 з еластичними лопатями очищає рядки від рослинних залишків, а головки коренеплодів – від гички та черешків. Кінцеве доочищення коренеплодів з формуванням їх головок здійснюється дообрізувачем гички 4, який складається з пасивного ножа, з'єданого паралелограмною навіскою з пасивним копіром.

Робочі органи ротора-гичкоріза мають шарнірне кріплення до горизонтального валу. Усі гичковидальні вузли мають гідравлічний привід. За твердженням фірми-виробника, незважаючи на складний привід, великі габаритні розміри, декілька окремих робочих органів, що доочищують головки коренеплоду, така конструкція гичкозбиральної частини ефективна на плантаціях цукрових буряків з високою врожайністю гички та великою кількістю бур'янів.

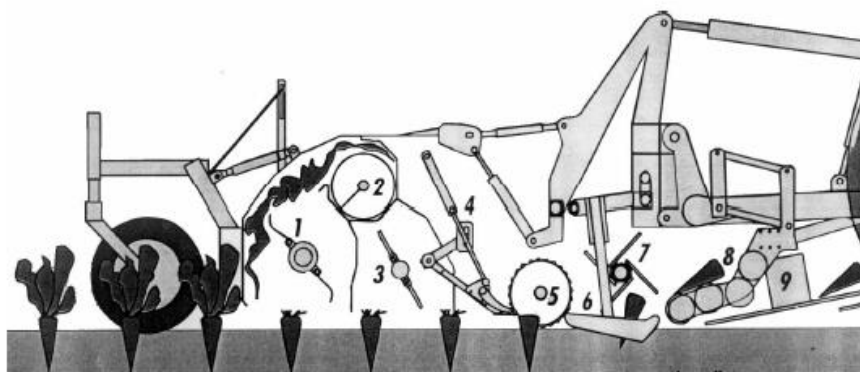


Рис. 2. Компонувальна схема гичкозбиральної частини комбайна SF-10

На сьогоднішній день набуває розвитку технологія видалення гички методом одночасного безкопінного зрізу та доочищення, яка характеризується зменшенням енергетичних та експлуатаційних показників за рахунок виконання операції очистки одним робочим органом.

Представником таких робочих органів виступає апарат для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків (рис 3), виконаний у вигляді вертикального вала 4, на якому розміщений диск 6 з ножами 7 і очисними елементами 8, при русі вздовж рядка за допомогою приводного редуктора 2 диск з робочими органами обертається зрізуючи гичку і очищуючи голівку коренеплоду [7].

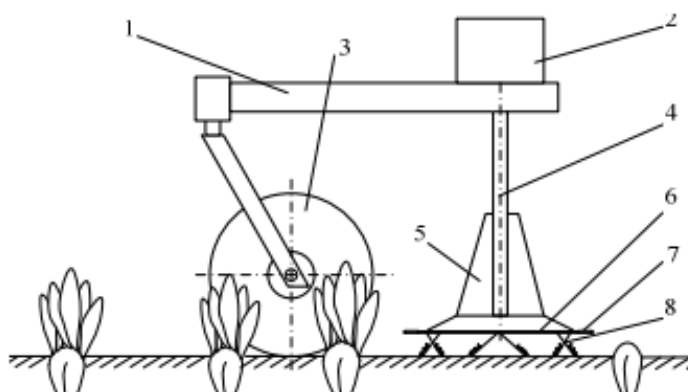


Рис. 3. Апарат для зрізування гички та очищення головок коренеплодів

Апарат для зрізування гички та очищення головок коренеплодів працює таким чином. При русі вздовж рядків за допомогою приводного редуктора обертається вал, на якому жорстко закріплений диск, котрий приводить в рух копіювальні робочі елементи, що містять плавно зігнуті підпружинені стрижні за очисними робочими поверхнями. Гичка зрізується на встановленій висоті диском з шаблеподібними ножами і з допомогою бітерів переміщується за межі рядків. Після підвищеного зрізу головки коренеплодів очищуються копіювальними робочими елементами, що направлені вздовж осі вектора лінійної швидкості руху в точці першого контакту з коренеплодом. А відрізки пластин очисних поверхонь направлені відповідно до зон чищення по дотичній до головки коренеплоду та під певним кутом до залишків гички. Таким чином, відбувається одночасне зрізування гички та видалення її за межі рядка, копіювання і очищення головки коренеплоду.

Проаналізувавши процес подрібнення гички встановлено, що подрібнення гички супроводжується сильним соковиділенням, що є позитивним фактором при її розкиданні по полю як органічного добрива. Однак, конструкція очисників, які забезпечують якісне подрібнення зеленої маси та рівномірне її розподілення по ширині оброблювальної смуги потребує додаткових енерго- та металозатрат на переміщення маси на зібрану частину поля. Тому раціональним рішенням буде укладанням подрібненої гички з двох суміжних рядків у одне міжряддя.

Конструктивно більш складними пристроями виступають комбіновані очисники. Представник даного типу конструкцій зображений на рис 4. [11]. Конструкція таких пристроїв передбачає копірне зрізування гички та послідовне очищення залишків одним робочим органом. Пристрій для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків працює наступним чином. При русі агрегату вздовж рядка приводиться в рух вал і відповідно диск, котрий

приводить в рух ножі та очисні елементи. 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 очисні накладки, закріплені на копіюючій частині диска, обчісуючи черешки гички за рахунок своєї профільної поверхні, яка являє собою набір пружних еластичних зубців на спільній основі, далі очисні елементи проводять додаткове обчісування залишків гички на голівці коренеплоду. Таким чином, відбувається одночасне зрізування гички з винесенням її за межі рядка та очищення головок коренеплодів.

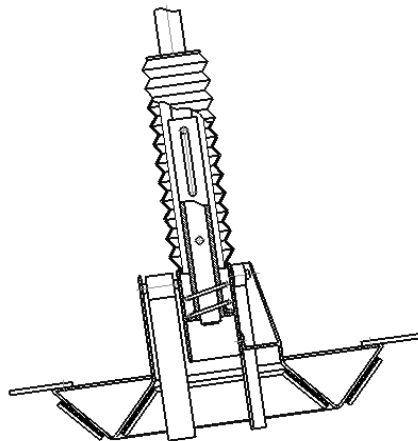


Рис 4. Комбінований очисник

Копіювання висоти росту коренеплодів виконується копіювальною частиною диска 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 диск опускається, при цьому очищений коренеплід не впливатиме на копіювання висоти росту наступного коренеплоду, оскільки проходить 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.

Попри складність конструкції та необхідності окремого приводу на кожний очисний пристрій розглянута конструкція очисника здатна забезпечити якісні агротехнічні вимоги та проводити очищення кореня одним робочим органом без пошкодження тіла коренеплоду.

Висновки. До перспективних напрямків розвитку технологій та машин для очищення гички цукрових буряків слід віднести двостадійне видалення гички з послідуочим подрібненням та укладанням зеленої маси у міжряддя, використання безкопійного способу зрізування та доочищення голівок коренеплодів, а також виконання одним робочим органом операцій зрізування та доочищення коренеплодів.

Інформаційні джерела

1. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Маслак О. Розпочато новий цукровий сезон. Пропозиція. – 2012. – №10.
3. Козіброда Я.І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків. – Тернопіль.: Збруч, 1996. – 91 с.
4. Погорельий Л.В., Татянюк Н.В., Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. – К.: Феникс, 2004. – 232 с.
5. Мартиненко В. Я. Гичкозбиральні машини / Мартиненко В. Я –Тернопіль: Поліграфіст, 1997. – 110 с.
6. Погорілий М.Л. Технологічні і технічні аспекти вдосконалення бурякозбиральної техніки Техніка АПК. – 2000. – № 1. – С. 14-18.
7. Кушпель Р.А. Розроблення апарата для одночасного зрізування гички та очищення головок коренеплодів / Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст., вип. 14. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2006. – 306 с

8. Погорельый Л.В., Брей В.В. Сравнительный анализ и тенденции развития свеклоуборочных машин. Тракторы и сельхозмашины, 1975. №10. С. 21-24.

9. Рибак Т.І., Цьонь О.П. Огляд гичковидаляючих апаратів бурякозбиральних машин та шляхи їх вдосконалення. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, технічні науки. Вип. 134. «Технічний сервіс машин для рослинництва». Харків, 2013, с.203-207.

10. Мартиненко В.Я., Фенканін В.П. Аналіз результатів дослідження зрізування гички пасивним підпружиненим ножом. Вісник ХДТУСГ, Вип. 29. «Механізація сільськогосподарського виробництва», Харків, 2004, С. 206 – 210.

11. Пристрій для зрізування гички та очищення головок коренеплодів цукрових буряків. Лінник А.Ю., Білик С.Г., Фльонц О.В., Семенів І.І., Кирик О.М., Носко В.Л. Патент на кор. модель № 105546 МПК А 01D 23/02 (2006.1) № u201509074 Заявл. 21.09.15, Опубл. 25.03.16. Бюл №6.

Лінник А.Ю. к.т.н..

Отделенное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Бережанський агротехнічний інститут"

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И БОТВООЧИСТИТЕЛЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Качественная очистка головки корнеплода сахарной свеклы от ботвы является одним из важных факторов, который влияет на дальнейшее выкапывание, хранение и переработку корешей на сахар. Поскольку при наличии остатков ботвы и повреждений тела корня ухудшаются условия хранения корнеплодов, увеличиваются затраты на транспортировку сырья и потери ее во время хранения и переработки следует применять рациональную технологию очистки и соответствующие машины. С целью определения рациональной технологии и применения устройств для очистки корешей проведен анализ существующих технологий и конструкций машин для очистки ботвы из поверхности головок корнеплодов сахарной свеклы исходя из условий повышения качества процесса очистки и снижения степени повреждения тела корнеплода с учетом характеристик посевов - урожайность, засоренность сорняками, рельефом поля, и тому подобное. В частности, сосредоточено внимание на конструктивных решениях очистителей для очистки ботвы свеклы на корне. Рассмотрен ряд конструктивно отличных очистительных устройств, определены особенности работы каждой конструкции и проведен анализ качественных показателей работы.

Ключевые слова: сахарная свекла, корнеплод, ботва, остатки ботвы, качество очистки, счесывания, повреждение.

A. Linnik Ph. D.

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

DEVELOPMENT TRENDS OF TECHNOLOGIES AND CLEANING MACHINES FOR SUGAR BEET

The good cleaning of the head of the sugar beet root is one of the important factors that affects the further digging, storage and processing of the roots for sugar. As root residues and damage to the root body deteriorate the storage conditions of the roots, the cost of transporting the raw material and its loss during storage and processing will increase. In order to determine the rational technology and use of devices for root cleaning, the analysis of existing technologies and designs of machines for cleaning the branch from the surface of the heads of the root crops of sugar beet was conducted based on the conditions of improving the quality of the cleaning process and reducing the degree of damage to the body of the root, taking into account the characteristics of crops - yield yams, terrain, etc. In particular, the focus is on the design solutions of purifiers for cleaning beetroot on the roots. A number of different structural cleaning devices are considered, the features of each design are determined, and the quality indicators of the work are analyzed.

Keywords: sugar beet, root crop, willow, willow residue, quality of cleaning, combing, damage.

65.011.56 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-13

Маркіна Л.М., Сацик В.О., Смолянкін О.О.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАМІСУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПИРТУ

В статті проведено дослідження стадії технологічного процесу виробництва спирту, а саме приготування замісу. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання на даній ділянці. Представлено застосування нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання основних параметрів концентрації замісу замісу з візуалізацією досліджуваного етапу технологічного процесу виробництва спирту та їх результативність. Найбільшого застосування нечітка логіка набула для рішення поставлених завдань автоматичного управління технологічними процесами в прийнятні рішення, щодо контролю та регулювання параметрів процесу, визначення оптимальних значень та прогнозування. Застосування правил нечіткої логіки було реалізовано з використанням програмного середовища Matlab, яке дозволяє розробити чіткий алгоритм для виведення нечіткого логічного висновку з формуванням необхідних баз знань. Нечіткі множини дали змогу застосовувати лінгвістичний опис складних процесів в системі автоматичного регулювання основних параметрів досліджуваного етапу технологічного процесу виробництва спирту. На базі проведених досліджень розроблено візуалізацію технологічного процесу з використанням об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi, яка дозволяє відобразити вплив вхідних даних кількості зерна, кількості води, фільтрату барди та температури води на вихідне значення концентрації замісу.

Ключові слова: заміс, концентрація, система автоматичного регулювання, нечітка логіка.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день спиртова промисловість розвинута в багатьох країнах та є основою розвитку економіки. Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу передбачає впровадження новітніх технологій з використанням сучасних засобів автоматизації. Завданням ефективних технологій є зниження витрат енергоресурсів, сировини, додаткових компонентів так і покращення якісних показників спирту.

На багатьох спиртових заводах нашої країни та за її межами використовуються системи автоматичного керування, які дозволяють здійснювати своєчасне регулювання технологічних параметрів на кожній ділянці, але не забезпечують аналіз технологічних параметрів окремого технологічного етапу та не дозволяють встановити взаємозв'язки між вхідними і вихідними параметрами [1].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженням спиртової промисловості займається чимало науковців В.М. Швець, В.А. Домарецький, В.О. Маринченко, П.Л. Шиян, С.Т. Олійнічук, Т.О. Мудрак та фахівці в даній галузі, які приймають активну участь в удосконаленні та впровадженні новітніх технологій. Їхні дослідження показали, що стан розвитку систем управління характеризується широким використанням комп'ютерно-інтегрованих систем управління. Використання сучасних способів регулювання технологічними процесами розвинуто, але не у всіх галузях промисловості і більшу перевагу мають класичні методи. Перш за все слід виділити методіку керування основними параметрами, зокрема побудова моделей з використанням нечіткої логіки, яка використовується на жаль, не на всіх етапах виробництва.

Відомо чимало способів виробництва етилового спирту [2].

Основними технологічними стадіями в процесі виробництва спирту є:

1. приготування замісу замісу;
2. гідроферментативна обробка сировини;
3. бродіння;
4. ректифікація спирту.

В якості основних зернових культур при приготуванні замісу використовують пшеницю, кукурудзу і ячмінь. У зерні міститься в середньому 14-15% вологи, решта - сухі речовини (крохмал, білок, вуглеводи, клітковина, жир, зола). У сухих речовинах також містяться

вітаміни, мінеральні речовини і ферменти. Останні мають величезне значення, так як технологія етилового спирту з крохмалистою сировини заснована на ферментативному гідролізі зернового крохмалю [4].

Ферменти виконують роль каталізаторів білкового походження, які утворюються і функціонують в усіх живих організмах. Застосування даних препаратів сприяє інтенсифікації технологічних процесів, підвищення виходу спирту, поліпшенню його якості, забезпечує раціональне використання сировинних ресурсів [5].

Однією із важливих стадій технологічного процесу виробництва спирту є приготування замісу. Саме на даній ділянці відбувається змішування зерна з водою в залежності від крохмалистості і вологості зерна з урахуванням того, щоб концентрація замісу замісу не перевищувала допустимі межі 18-20 % за цукрометром. Головна мета - руйнування клітинної структури сировини і переведення крохмалю в розчинний стан з дотриманням температурних режимів [6].

Проведений аналіз існуючих систем автоматичного регулювання основних параметрів замісу замісу дозволив виявити ряд переваг та недоліків. Найбільш розповсюдженим недоліками існуючих систем є:

- використання спеціальних алгоритмів, які розроблені лише для конкретного виробництва та сировини;
- значні витрати енергоресурсів та сировини;
- несвоєчасне регулювання концентрації замісу;
- використання застарілого обладнання.

Найбільш розповсюдженим перевагами існуючих систем є:

- підвищення ефективності технологічного процесу за рахунок покращення стабілізації продуктивності виробництва спирту;
- підвищення ефективності керування;
- зниження втрат сировини та витрат тепла.

Застосування теорії нечітких множин для розв'язання задач по регулюванню технологічних параметрів в регламентних режимах на базі лінгвістичного підходу допоможе знизити енергозатрати, оптимізувати умови розрідження та оцукрення крохмалевмісного замісу, підвищити бродильну активність дріжджів та вихід спирту [7].

Мета роботи. Застосування нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання основних параметрів концентрації замісу замісу та візуалізація досліджуваного етапу технологічного процесу виробництва спирту.

Викладення основного матеріалу. Проведені дослідження етапу приготування замісу, а саме процесу змішування основних компонентів з використанням класичних методів математичного моделювання, з визначенням вимірюваних та невимірюваних вхідних та вихідних потоків дозволили відтворити динаміку процесу аналітичним методом. Даний спосіб допоміг провести аналіз без можливості впливу та регулювання вихідного параметра процесу змішування - концентрації замісу. Врахувавши отримані результати запропоновано використати елементи штучного інтелекту для удосконалення моделі процесу.

Використання теорії нечітких множин дозволило побудувати нечітку модель взявши за основу нечіткі правила. Структурна схема нечіткої моделі впливу температури води, вологості зерна, кількості зерна та води, фільтрату барди на зміну концентрації замісу зображена на рисунку 1.

Найбільшого застосування нечітка логіка набула для рішення поставлених завдань автоматичного управління технологічними процесами в прийнятні рішення, щодо контролю та регулювання параметрів процесу, визначення оптимальних значень та прогнозування.

Нечітка логіка базується на понятті нечіткої множини як об'єкта з функцією належності елемента до множини (англ. Membershipfunction), яка може набувати будь-яких значень в інтервалі $[0, 1]$, а не тільки 0 або 1. Існує більше десяти типових форм кривих для завдання функцій належності. Найбільшого поширення набули трикутні, трапецеїдальні та гаусові функції. На основі цього поняття проводяться різні логічні операції над нечіткими множинами, формується поняття лінгвістичної змінної, як значення якої виступають нечіткі множини та формується нечіткий висновок щодо контролю та регулювання концентрації замісу [8,9].

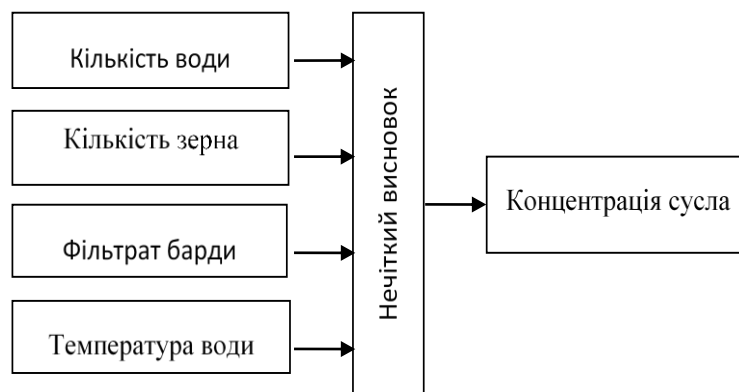


Рисунок 1. Структура нечіткої моделі впливу основних вхідних даних на зміну концентрації замісу

Застосування правил нечіткої логіки було реалізовано з використанням програмного середовища Matlab, яке дозволяє розробити чіткий алгоритм для виведення нечіткого логічного висновку з формуванням необхідних баз знань. Середовище моделює залежність $Y=f(X)$, де Y – вихідна концентрація замісу, а X – вектор вхідних параметрів процесу змішування: кількість води, кількість зерна, фільтрат барди, температура води.

У даній роботі було застосовано нечітку логіку та отримано функції належності методом трикутників. Практичні показники параметрів технологічного процесу, які використовуються для теоретичних розрахунків, отримані з Марилівського спиртзаводу. Розрахунки, побудова бази правил та нечіткий висновок проводились в середовищі Matlab. Фрагмент програмної реалізації нечіткої логіки методом трикутників в середовищі Matlab подано на рисунку 2.

```

Editor - ІДІсервія\Прога заміс\Trukutnik.m
Trukutnik.m
22 -   fis=addvar(fis,'input','Витрата зерна',[minIn1 maxIn1]);
23 -   for i=1:nIn1
24 -       fis=addmf(fis,'input',1,num2str(i),'trimf',minIn1+[(i-2)*hIn1 (i-1)*hIn1 i*hIn1]);
25 -   end;
26
27 -   fis=addvar(fis,'input','Витрата води',[minIn2 maxIn2]);
28 -   for i=1:nIn2
29 -       fis=addmf(fis,'input',2,num2str(i),'trimf',minIn2+[(i-2)*hIn2 (i-1)*hIn2 i*hIn2]);
30 -   end;
31
32 -   fis=addvar(fis,'input','Фільтрат барди',[minIn3 maxIn3]);
33 -   for i=1:nIn3
34 -       fis=addmf(fis,'input',3,num2str(i),'trimf',minIn3+[(i-2)*hIn3 (i-1)*hIn3 i*hIn3]);
35 -   end;
36
37 -   fis=addvar(fis,'input','Температура води',[minIn4 maxIn4]);
38 -   for i=1:nIn4
39 -       fis=addmf(fis,'input',4,num2str(i),'trimf',minIn4+[(i-2)*hIn4 (i-1)*hIn4 i*hIn4]);
40 -   end;
41
42 -   fis=addvar(fis,'input','Вологість зерна',[minIn5 maxIn5]);
43 -   for i=1:nIn5
44 -       fis=addmf(fis,'input',5,num2str(i),'trimf',minIn5+[(i-2)*hIn5 (i-1)*hIn5 i*hIn5]);
45 -   end;
46
47 -   fis=addvar(fis,'output','Концентрація',[minOut maxOut]);
48 -   for i=1:nOut
49 -       fis=addmf(fis,'output',1,num2str(i),'trimf',minOut+[(i-2)*hOut (i-1)*hOut i*hOut]);
50 -   end;
  
```

Рис. 2. Програмна реалізація нечіткої логіки методом трикутників в середовищі Matlab.

На базі проведених досліджень розроблено візуалізацію технологічного процесу з використанням об'єктно-орієнтованої мови програмування Delphi, яка дозволяє відобразити вплив вхідних даних кількості зерна, кількості води, фільтрату барди та температури води на вихідне значення концентрації замісу. Загальний вигляд головного вікна програми для приготування замісу зображено на рисунку 3.



Рис. 3. Головне вікно програми

Розглянемо одну функцію належності вхідної величини «Витрата зерна» та функцію належності концентрації вихідної величини «Концентрація», рисунок 4 та рисунок 5 - відповідно.

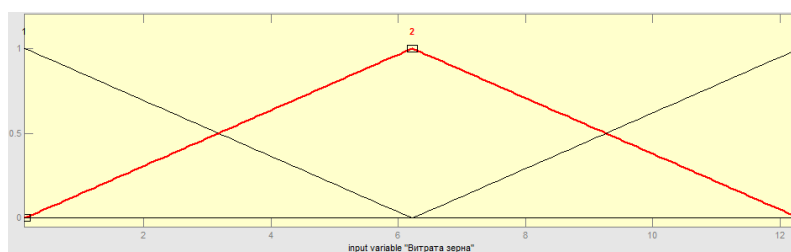


Рис. 4. Функція належності вхідної величини «Витрата зерна»

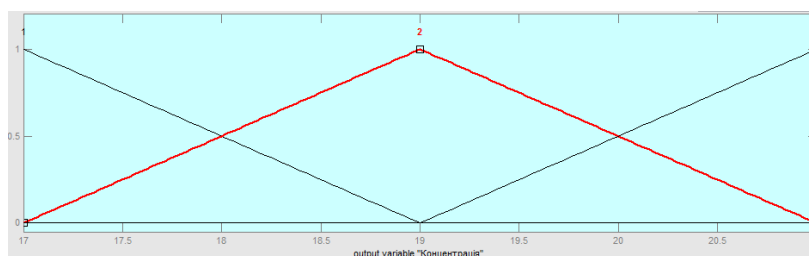


Рисунок 5. Функція належності вихідної величини «Концентрація»

Застосування нечіткої логіки для системи регулювання параметрів процесу змішування, для початку необхідно активувати кнопку «Подати зерно», лише тоді програма звертається до бази даних у якій знаходяться реальні дані отримані з виробництва, а також до даних концентрації отриманих на основі побудови нечітких моделей та відображається у вікні «Концентрація».

Після виводу даних на екран здійснюється обробка та перевірка отриманої концентрації. Якщо показник концентрації потрапляє в межі трикутника №2, тоді концентрація в нормі (знаходиться в допустимих межах), якщо потрапляє в межі трикутника №1 або №3, то виникає критична ситуація, що передбачає регулювання параметрів технологічного процесу на зменшення або збільшення кількості зерна. Межі критичних ситуацій функцій належності вихідної величини «Концентрація» зображені на рисунку 6.

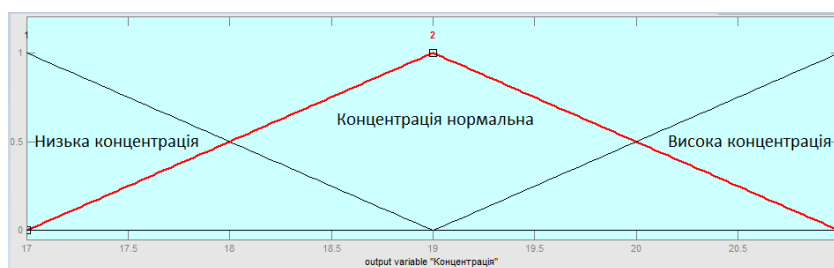


Рисунок 6. Межі критичних ситуацій функції належності вихідної величини «Концентрація»

В програмному середовищі передбачено інформування оператора про покази концентрації замісу, які знаходяться в допустимих межах, що відображено на рисунку 7 або наявні відхилення, які виникають при зміні кількості води і зерна на рисунку 8.

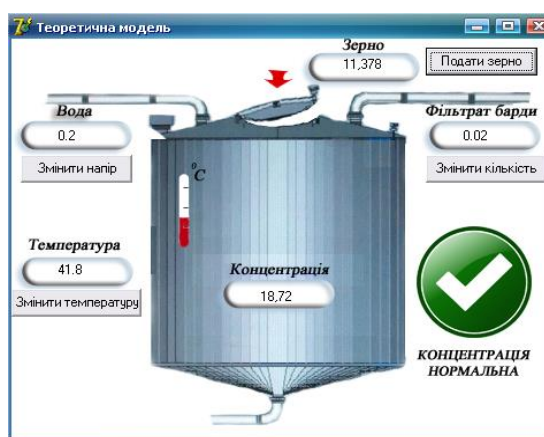


Рисунок 7. Концентрація знаходиться в допустимих межах

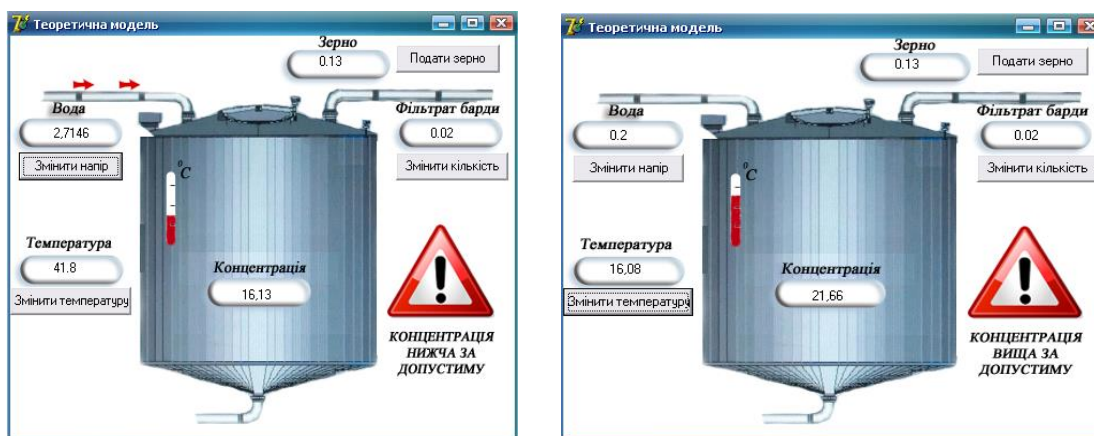


Рисунок 8. Відображення зміни концентрації замісу

Висновок. Таким чином в даній роботі було представлено застосування нечіткої логіки в системі автоматичного регулювання основних параметрів концентрації замісу з візуалізацією досліджуваного етапу технологічного процесу виробництва спирту та їх результативність.

Застосування правил нечіткої логіки було реалізовано з використанням програмного середовища Matlab, яке дозволяє розробити чіткий алгоритм для виведення нечіткого логічного висновку з формуванням необхідних баз знань.

Крім того, у даній роботі були отримані функції належності методом трикутників, з використанням даних, що отримані з Марилівського спиртзаводу.

Як бачимо, на прикладі взаємоузгодженості функції належності вхідної величини «Витрата зерна» та «Меж критичних ситуацій» функції належності вихідної величини «Концентрація» нечіткі множини дали змогу застосовувати лінгвістичний опис складних процесів в системі автоматичного регулювання основних параметрів концентрації замісу замісу досліджуваного етапу технологічного процесу виробництва спирту та встановлювати нечіткі відношення між поняттями, прогнозувати поведінку системи, сформулювати множини альтернативних дій, виконати формальний опис нечітких правил прийняття рішень.

Інформаційні джерела

1. Маркіна Л.М. Моделювання процесу термоферментативної обробки зернових замісів на базі нечітких множин. Луцький національний технічний університет. ПЛ-НТУ Транскордонний обмін досвідом. Том 5. Луцьк 2015.- с.71-86.

2. Патент UA 36930, МПК: C12G 3/02. Спосіб виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини / Васильківський М.К., Павленко М.О., Жолнер І. Д., Сосницький В.В., Маринченко В.О., Сизько В.Б., Бобильов В.О., Загарія І.С., Петрівський В.К. 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

3. Патент UA 22494, МПК: C12G 3/02. Спосіб виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини / Швець В.Н., Иванова Л.А., Мыслинская С.А., Королюк Т.А. Опубліковано: 03.03.1998

4. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и теххимконтроль / [В.Л. Яровенко, Б.А. Устинников, Ю.П. Богданов, С.И. Громов].- М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. -336 с.

5. Римарева. Л.В. Теоретические и практические основы ферментативного катализа полимеров зернового сырья в спиртовом производстве/ Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Абрамова И.М. // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2008. — № 3. — С. 4–9

6. Технологія спирту. Маринченко В.О., Домарецький В.А., Шиян П.Л., Швець В.М., Циганков П.С., Жолнер І.Д.. /Під ред. проф. Маринченка В.О. - Вінниця: "Поділля-2000", 2003. - 496 с.

7. Маркіна Л. М., Городинський Д. С. Методи нечіткої логіки в управлінні процесом водно-теплової обробки при виробництві спирту //Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2013. – №. 12. – С. 123-129.

8. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень [Текст] / С. О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с. 8. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Текст] / С. Д. Штовба. – М.: Телеком, 2007. – 288 с.

9. Кравченко, М. О. Застосування методів нечіткої логіки для визначення інтегрального показника фінансової стійкості підприємств [Текст] / Марина Олегівна Кравченко // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2016. – Том 26. – № 1. – С. 123-129.

Маркіна Л.М., Сацьк В.А., Смолянкін А.А.

Луцький національний технічний університет, г. Луцьк, Україна

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАМЕСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА

В статті проведено дослідження стадій технологічного процесу виробництва спирту, а саме приготування замеса. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання на даній частині. Представлено застосування нечіткої

логики в системі автоматичного регулювання основних параметрів концентрації замеса з візуалізацією изучаємого етапу технологічного процесу виробства спирта і їх результативність. Найбільше застосування нечітка логіка отримала для рішення поставлених завдань автоматичного управління технологічними процесами в прийнятті рішень відносно контролю і регулювання параметрів процесу, визначення оптимальних значень і прогнозування. Застосування правил нечіткої логіки було реалізовано з використанням програмної середовища Matlab, яка дозволяє розробити чіткий алгоритм для виводу нечіткого логічного висновку з формуванням необхідних баз знань. Нечіткі множини дозволили застосувати лінгвістичне описання складних процесів в системі автоматичного регулювання основних параметрів изучуємого етапу технологічного процесу виробства спирта. На базі проведених досліджень розроблена візуалізація технологічного процесу з використанням об'єктно-орієнтованого мови програмування Delphi, яка дозволяє відобразити вплив входних даних кількості зерна, кількості води, фільтрата барди і температури води на вихідне значення концентрації замеса.

Ключевые слова: замес, концентрація, система автоматичної регулювання, нечітка логіка.

Markina L.M., Satsyk V.A., Smolyankin A.A.

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

THE USE OF FUZZY LOGIC IN THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF THE KIND CONCENTRATION IN THE PRODUCTION OF ALCOHOL

The article examines the stage of the technological process of alcohol production, namely the preparation of the mixture. The analysis of the existing systems of automatic regulation on the given site is carried out. The application of fuzzy logic in the system of automatic regulation of the main parameters of batch concentration with the visualization of the studied stage of the technological process of alcohol production and their effectiveness is presented. The most widely used fuzzy logic has been used to solve the tasks of automatic control of technological processes in decisions, control and regulation of process parameters, determination of optimal values and forecasting. The application of fuzzy logic rules was implemented using the Matlab software environment, which allows to develop a clear algorithm for deriving a fuzzy logical conclusion from the formation of the necessary knowledge bases. Fuzzy sets made it possible to apply a linguistic description of complex processes in the system of automatic regulation of the main parameters of the studied stage of the technological process of alcohol production. Based on the research, a visualization of the technological process using object-oriented programming language Delphi was developed, which allows to display the influence of input data on grain quantity, water quantity, bard filtrate and water temperature on the initial value of batch concentration.

Key words: change, concentration, automatic regulation system, unclear logic.

УДК 621.822.681.2:369.64

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-14

Марчук В.І. д.т.н. проф., Марчук І.В., к.т.н., доц., Карпюк В.О., Грисюк О.А.

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПРО ВПЛИВ ВІБРОАКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ В ПРОЦЕСІ ШЛІФУВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ШЛІФОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

У роботі розглядається можливість визначення раціонального режиму шліфування поверхонь кілець підшипників кочення на основі вимірювання віброакустичних коливань динамічної системи. Представлено структурну схему динамічної системи шліфувального верстата при шліфуванні кілець підшипників. Визначається запас стійкості динамічної системи верстатів за показником коливання або критерієм Михайлова. На основі опрацювання результатів віброакустичних коливань встановлений зв'язок між запасом стійкості (за показником коливання) та зношуванням круга. Використовується критерій Гурвіца з метою оцінки стійкості динамічної системи п'ятого порядку та виявлення зміни запасу стійкості у міру зносу круга. Побудовано передатну функцію динамічної системи шліфувального верстата для обробки кілець підшипників, на основі аналізу якої показано, що запас стійкості динамічної системи може слугувати чисельною оцінкою динамічної якості верстата. Експериментально встановлений зв'язок запасу стійкості зі зносом круга при обробці кілець підшипників. Проведено порівняння верстатів по динамічній якості.

Ключові слова: шліфувальний верстат, динамічна система, віброакустичні коливання, передатна функція, критерій Гурвіца, автокореляційна функція, подача круга, зношування круга, запас стійкості.

Постановка проблеми. Підвищення вимог до якості обробки деталей у машино та приладобудуванні, застосування нових оброблюваних та інструментальних матеріалів зумовило необхідність зниження значень макро та мікрогеометричних параметрів точності та стабільності фізико-механічних характеристик поверхневого шару деталей, що визначило доцільність урахування динамічних процесів у автоматизованих верстатах при переривчастому шліфуванні. [1].

Динамічна якість верстатів є важливим чинником, що впливає на точність обробки високоточних деталей. В умовах експлуатації його оцінка здійснюється на основі вимірювання віброакустичних (ВА) коливань основних формоутворювальних вузлів. Подальша обробка ВА коливань забезпечує одержання спектральних, кореляційних та інших функцій, на основі яких формується оцінка динамічної якості верстата. З точки зору оцінки динамічного стану верстата при різанні можливий вимір спектра коливань у процесі обробки шляхом статистичного аналізу, проте в цьому випадку важко дати фізичне обґрунтування змін динаміки верстата. У цьому сенсі більш доцільним є визначення запасу стійкості динамічної системи (ДС). Запас стійкості ДС змінюється при варіюванні значення параметрів режиму різання, наприклад подачею шліфувального круга, або зниження його ріжучих властивостей при зносі.

Динамічна якість верстата є його важливою характеристикою з точки зору забезпечення якості шліфувального оброблення деталей підшипників. На круглошліфувальних верстатах для обробки кілець підшипників ефективно вимірювати віброшвидкість на частоті обертання круга та заготовки, що дозволяє виявити дисбаланс шпинделів. Для оцінки впливу віброакустичних (ВА) коливань на геометричні параметри точності деталей доцільно вимірювати вібропереміщення. Для оцінки динамічної якості шліфування доцільно використовувати запас стійкості ДС [2, 3, 4].

Основне завдання та одержані результати роботи. Динамічні процеси відіграють важливу роль в автоматизованих шліфувальних верстатах для обробки деталей класу тіла обертання [2]. Для теоретичного обґрунтування застосування на практиці поняття «запас стійкості ДС» доцільно побудувати модель ДС. Математична модель динамічної системи при врізному шліфуванні відображає взаємозв'язок регулюючих впливів і сил різання, параметрів пружної системи верстата і зношування абразивного круга, що впливають на динамічні характеристики процесу шліфування і, відповідно, на якість обробки деталей підшипників. [3, 7].

У роботі [8] для спрощеної моделі теоретично показано, що ДС по мірі зношування круга переходить із стійкого стану в нестійкий, отже, запас стійкості може бути критерієм вибору

режиму шліфування з найбільшою ефективністю. При цьому передбачається, що протягом часу обробки однієї деталі (1...3 хв) параметри ДС не змінюють своїх значень, тобто система лінеаризована, хоча загалом ДС верстата є нелінійною [3]. У цьому випадку для кожного обробленого кільця існуватиме передатна функція ДС, але від кільця до кільця значення її коефіцієнтів будуть змінюватися, і, отже, змінюватиметься запас стійкості ДС. Розглянемо структурну схему ДС шліфувального верстата під час шліфування кілець підшипників (рис. 1), що враховує знос круга. [8, 9, 14]

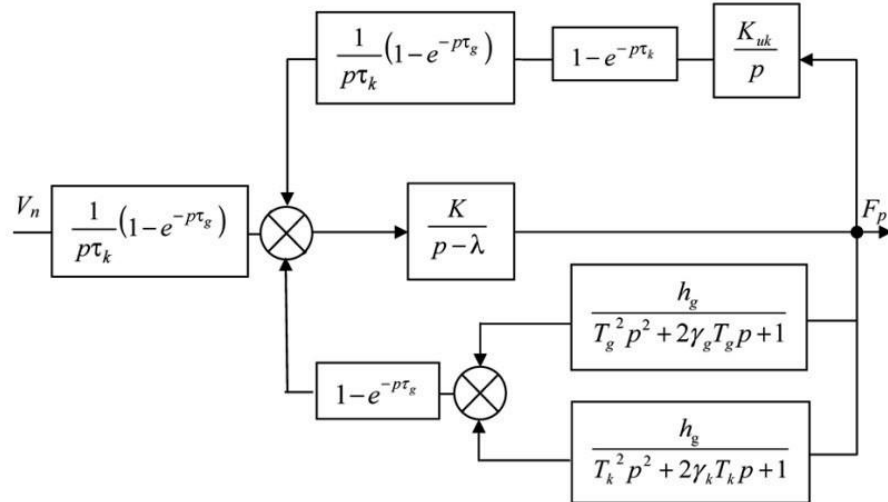


Рис. 1. Структурна схема динамічної системи верстата при шліфуванні з урахуванням зносу круга та зміни його ріжучої здатності

У цьому випадку передатна функція ДС, що дорівнює відношенню зображень за Лапласом сили різання та подачі круга, має вигляд:

$$W(p) = \frac{K}{(p-\lambda)} (1-e^{-p\tau_g}) \cdot \left(1 + \frac{K-1-e^{-p\tau_g}}{(p-\lambda)} \left[\left(\frac{h_g}{T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1} + \frac{h_k}{T_k^2 p^2 + 2\gamma_k T_k p + 1} \right) p + \frac{K_{uk}}{p\tau_k} (1-e^{-p\tau_k}) \right] \right)^{-1} \text{ (мм/с)}$$

На рис. 1 та у формулі (1) введені такі позначення: V_n – подача круга; τ_g, τ_k – час обороту деталі та круга відповідно; K_{uk} – коефіцієнт зносу круга; λ – коефіцієнт зміни ріжучої здатності круга; T_k, T_g – постійні часу круга та деталі; γ_k, γ_g – коефіцієнти демпфування шпиндельних вузлах (ШВ) круга та ШВ деталі, F_p – сила різання, h_k, h_g – податливість ШВ круга та ШВ деталі.

Після алгебраїчних перетворень (з урахуванням розкладання експонент у ряд $e^{-p\tau_g} = 1 - p\tau_g, e^{-p\tau_k} = 1 - p\tau_k$ маємо:

– чисельник В(р) у формулі (1) дорівнює

$$B(p) = k\tau_g (T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1)(T_k^2 p^2 + 2\gamma_k T_k p + 1); \quad (2)$$

– знаменник А(р) у формулі (1) дорівнює

$$A(p) = (p + K\tau_g K_{uk} - \lambda) \cdot (T_k^2 T_g^2 p^4 + 2\gamma_g T_k T_g^2 p^3 + T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g T_g^2 p^3 + 4\gamma_g T_k T_g^2 p^2 + 2\gamma_k T_k T_g^2 p + 1) + (K\tau_g h_g T_k^2 p^3 + 2K\tau_g h_g T_k^2 p^2 + 2K\tau_g h_g p^2 + K\tau_g h_k T_g^2 p^3 + 2K\tau_g h_k T_g p^2 + 2K\tau_g h_k p)$$

(3)

Для оцінки стійкості ДС та виявлення зміни запасу стійкості у міру зношування круга необхідно застосувати критерій Гурвіца [10] до характеристичного рівняння системи

$$A(p) = 0. \quad (4)$$

Виконавши алгебраїчні перетворення у формулі (3), отримаємо вираз (4) як рівняння п'ятого порядку:

$$a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0, \quad (5)$$

де

$$a_0 = K\tau_g K_{uk} - \lambda;$$

$$a_1 = 1 + (K\tau_g K_{uk} - \lambda)(2\gamma_g T_g + 2\lambda_k T_k + K\tau_g h_g + K\tau_s h_k);$$

$$a_2 = (2\gamma_g T_g + 2\lambda_k T_k + K\tau_g K_{uk} h_g + K\tau_s h_k) + (K\tau_g K_{uk} - \lambda)(T_g^2 + T_k^2 + 4\gamma_g \gamma_k T_g T_k + 2K\tau_g h_g \gamma_k T_k + 2K\tau_s h_g \gamma_g T_g);$$

$$a_3 = (T_g^2 + T_k^2 + 4\gamma_g \gamma_k T_g T_k + 2K\tau_g h_g h_k T_k + 2K\tau_s h_g \gamma_g T_g) \cdot (K\tau_g K_{uk} - \lambda)(2\gamma_k T_k T_g^2 + 2\gamma_g T_s T_k^2 + K\tau_g h_g T_k^2 + K\tau_s h_k T_g^2);$$

$$a_4 = (2\gamma_k T_k T_g^2 + K\tau_g h_g T_k^2 + K\tau_s h_k T_g^2)(K\tau_s K_{uk} - \lambda) T_k^2 T_g^2, a_5 = T_k^2 T_g^2.$$

Необхідні та достатні умови стійкості для системи з характеристичним рівнянням п'ятого порядку за критерієм Гурвіца [6]:

1) коефіцієнти рівняння (2) більші нуля:

$$a_i > 0, i = \overline{0,5};$$

2) визначник другого порядку більший за нуль:

$$\Delta_2 = a_4 a_3 - a_5 a_2 > 0;$$

3) визначник четвертого порядку більший за нуль:

$$\Delta_4 = (a_4 a_3 - a_5 a_2)(a_2 a_{13} - a_3 a_0) - (a_4 a_{13} - a_5 a_2)^2 > 0.$$

Скориставшись значеннями коефіцієнтів, що входять до коефіцієнтів характеристичного рівняння a_i , які наведені в роботах [3, 7], можна показати, що всі три умови стійкості ДС виконуються у початковий момент часу. В міру зносу абразивного круга при шліфуванні, коли припуски, що знімаються, незначні (не більше 100 мкм), коефіцієнт K_{uk} згідно з дослідженнями Г. Б. Лур'є [11] досить тривалий час зберігає своє значення, а потім швидко падає практично до нуля. В такому випадку коефіцієнт a_0 змінює свій знак на негативний, тобто, ДС переходить у нестійкий стан. Зазначене супроводжується зниженням запасу стійкості ДС, що оцінюється на основі вимірювання ВА коливань при шліфуванні [2].

Отже, аналітично доведено, що запас стійкості ДС шліфувального верстата є критерієм оцінки його динамічного стану.

На практиці запас стійкості обчислюється з передавальної функції замкнутої станції ДС $W_3(p)$, яка визначається внаслідок спеціальної математичної обробки віброакустичних коливань при різанні, на основі якої встановлюється аналітичний вид автокореляційної функції (АКФ) $K(\tau)$. Далі використовується відомий вираз, отриманий В. А. Складяревичем [12]:

$$K(p) + K(-p) = W_3(p)W_3(-p), \quad (6)$$

де $K(p)$ – відображення по Лапласу АФК $K(\tau)$ за умови, що на вхід пружної системи подається сигнал типу «білий шум», якості якого розглядається стохастична компонента сили різання [2, 5].

Оцінку запасу стійкості замкнутої ДС шліфувального верстата для обробки кілець підшипників можна виконати на основі застосування критерію стійкості Михайлова [13] шляхом обчислення мінімальної відстані від кривої Михайлова до початку координат на комплексній площині $(ReM(j\omega), ImM(j\omega), de M(j\omega))$ – характеристичний багаточлен передавальної функції $W_3(j\omega)$; $ReM(j\omega), ImM(j\omega)$ – дійсна та уявна частини $M(j\omega)$. Так, наприклад, отриманий з ідентифікованої за експериментальними даними передавальної функції для внутрішньо шліфувального верстата SIW-4 багаточлен Михайлова має вигляд [2]:

$$M(j\omega) = [(j\omega + \alpha)^2(\omega_0 + \Omega)^2][(j\omega + \alpha)^2(\omega_0 + \Omega)^2], \quad (7)$$

де ω_0 – основна (несуча) частота коливань АКФ, що представляє собою затихаючу косинусоїду; α – коефіцієнт затухання реальної АКФ; Ω – частота огинаючої АКФ. Результати експериментів на верстаті SIW-4 показали [2], що зі збільшенням подачі круга від 0,2 до 0,6 мм/хв. запас стійкості ДС різко зменшується при подачі 0,6 мм/хв, що супроводжується зростанням рівня ВА коливань, зниженням якості шліфувальної поверхні нижче за допустиме

значення. За запасом стійкості ДС було рекомендовано подачу 0,5 мм/хв, яка перевищує на 25 % значення подачі, що застосовується у виробництві.

Для оцінки зміни запасу стійкості ДС у міру зношування круга проведено експеримент на круглошліфувальному верстаті SWaAGL-50, що полягає в послідовній обробці кілець підшипників зі збільшеним інтервалом часу між правками круга. У виробничих умовах правка передбачена через 5 кілець. В експерименті обробка здійснюється до того моменту, коли стан поверхневого шару доріжки кочення кілець суттєво погіршився. Як показник якості шліфування використовувалася неоднорідність структури поверхневого шару. Оцінка здійснювалася вихрострумовим методом за допомогою автоматизованого приладу ПВК-К2М у балах (5 балів – відмінний стан, 2 бали – брак) [2]. Запас стійкості оцінювався в умовних одиницях за критерієм Михайлова.

Обчислення запасу стійкості при обробці кілець показало (рис. 2), що рівень ВА коливань і запас стійкості майже не змінювалися з 1-го по 10-е кільце, а починаючи з 12-го кільця підвищився рівень ВА коливань і різко знизився запас стійкості, що корелює із показником якості шліфування.

З даної інформації випливає, що правку круга можна здійснювати не через 5 кілець, як прийнято за технологічним циклом, а через 10 кілець, що підвищує продуктивність за збереження якості поверхневого шару і економить алмазний правлячий інструмент.

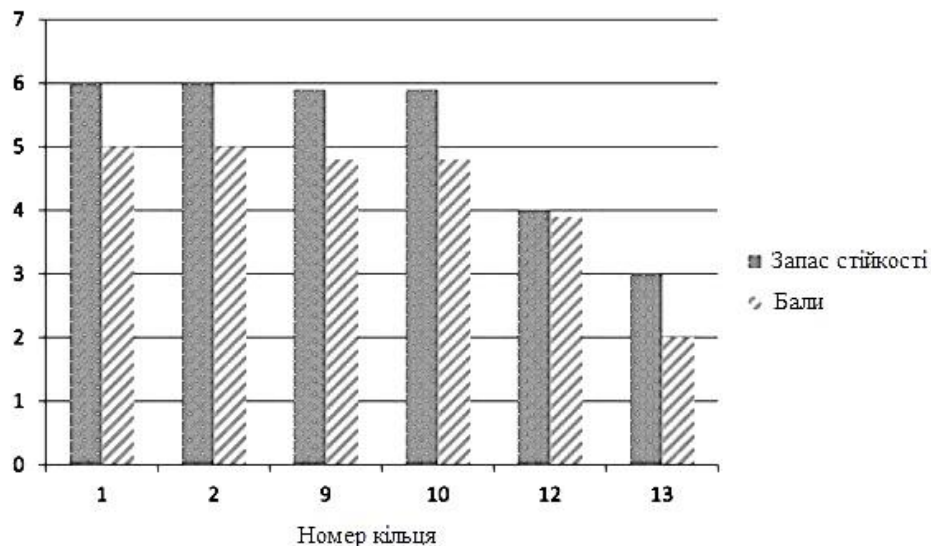


Рис. 2. Залежність запасу стійкості та якості поверхні від режиму правки

З практичної точки зору зручнішим для автоматизації оцінки запасу стійкості ДС є обчислення показника коливання. Заміною $P = j\omega$ можна отримати з $W_3(p)$ частотну функцію $W_3(j\omega)$, після чого з неї визначається амплітудно-частотна характеристика $A(\omega)$ (АЧХ), на базі якої за показником коливання M_{max} оцінюється запас стійкості замкнутої ДС [13, 15]:

$$M_{max} = \frac{[A(\omega)]_{max}}{A(0)}, \quad (8)$$

де $[A(\omega)]_{max}$ – максимальне значення АЧХ, $A(0)$ – значення АЧХ при $\omega = 0$.

При меншому значенні показника коливання ДС має більший запас стійкості (для детермінованих систем значення показника коливання, що відповідає найбільшому запасу стійкості, має бути в межах 1,1...1,5).

Для встановлення зв'язку точності обробки на круглошліфувальних верстатах SWaAGL-50 із запасом стійкості динамічної системи виконано вимірювання хвилястості доріжок кочення кілець підшипників та ВА коливань при обробці. На верстатах шліфувалися доріжки кочення кілець зі сталі ШХ-15 приблизно одного типорозміру, кругом одного і того ж матеріалу і з однаковими значеннями параметрів технологічного режиму. Порівняльний аналіз показав (рис. 3), що є взаємозв'язок точності обробки із запасом стійкості ДС, а верстат № 4, що має

найбільший запас стійкості (показник коливальності M має найменше значення), забезпечує більш високу геометричну точність поверхні кілець кочення.

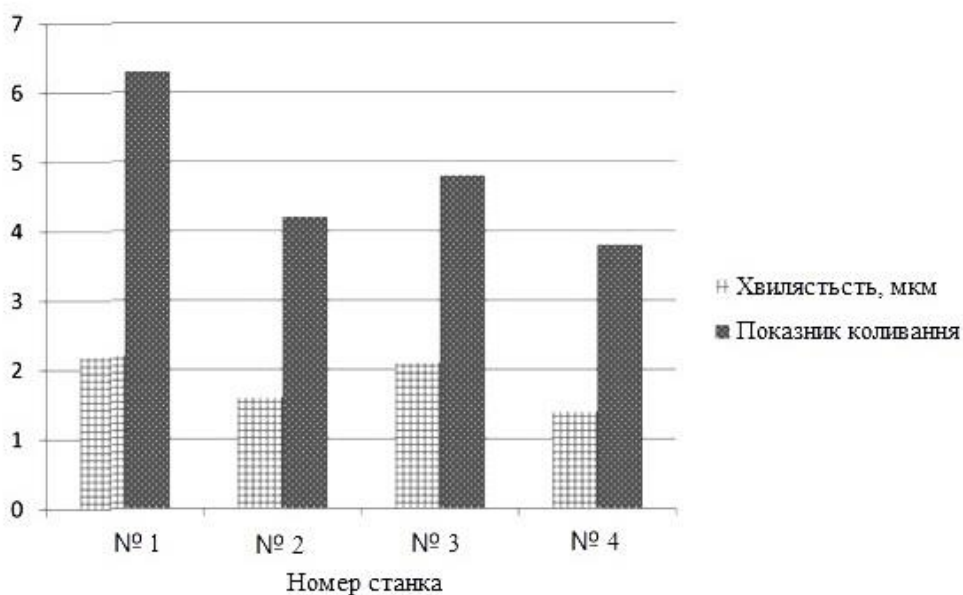


Рис. 3. Значення хвилястості (B) доріжок кочення кілець підшипників та показник коливання (M) верстатів SWaAGL-50

Висновок. Теоретично та експериментально підтверджено, що запас стійкості ДС шліфувального верстата може бути оцінкою його динамічної якості, що узгоджується з положеннями, розглянутими раніше В. А. Кудиновим [3]. За умови зіставлення якості шліфованої поверхні із запасом стійкості ДС у виробничих умовах призначається момент правки круга або доцільний режим обробки з точки зору найбільшої ефективності. Експериментально встановлено, що період між правками круга при шліфуванні кілець підшипників може бути збільшений до 2 разів. Крім того, однотипні верстати можна порівняти за запасом стійкості та визначити верстат з найбільш високою динамічною якістю та, відповідно, з більш високою якістю шліфування.

Інформаційні джерела

1. Аршанский, М. М. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках / М. М. Аршанский, В. П. Щербаков. – М. Машиностроение, 1988. – 124с.
2. Игнатьев, А. А. Стохастические методы идентификации в динамике станков / А. А. Игнатьев, В. А. Каракозова, С. А. Игнатьев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2013. – 124 с.
3. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 360 с.
4. Добрынин, С. А. Методы автоматизированного исследования вибрации машин : справочник / С. А. Добрынин, М. С. Фельдман, Г. И. Фирсов. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
5. Игнатьев, А. А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов / А. А. Игнатьев, В. В. Коновалов, С. А. Игнатьев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2014. – 92 с.
6. Самойлова, Е. М. Моделирование динамической системы автоматизированного токарного модуля при разработке экспертной системы / Е. М. Самойлова, А. А. Игнатьев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 268–277.
7. Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Сачковська Л.О. Динамічна модель процесу шліфування переривчастими кругами // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №16. - С.33-37. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-5>

8. 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 //

Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №17. - С.86-92. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-17-13>

9. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.

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. Promising technologies and devices №15 2019, Lutsk NTU. Pp. 58-62 DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-8>

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. Promising technologies and devices №16, 2020, Lutsk NTU - Articles 160-166 DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-23>

Marchuk V., Marchuk I., Karpyuk V.O., Grisyuk O.A.

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ON THE INFLUENCE OF VIBROACOUSTIC OSCILLATIONS IN THE GRINDING PROCESS ON THE QUALITY INDICATORS OF GRINDED SURFACES

The paper considers the possibility of determining the rational mode of grinding the surfaces of rolling bearing rings based on the measurement of vibroacoustic oscillations of the dynamic system. The block diagram of the dynamic system of the grinding machine for grinding bearing rings is presented. The margin of stability of the dynamic system of machines is determined by the oscillation index or Mikhailov criterion. Based on the processing of the results of vibroacoustic oscillations, the connection between the stability margin (according to the oscillation index) and the wear of the wheel is established. The Hurwitz test is used to assess the stability of a fifth-order dynamic system and to detect changes in the stability margin as the wheel wears. The transfer function of the dynamic system of the grinding machine for machining bearing rings is constructed, based on the analysis of which it is shown that the stability margin of the dynamic system can serve as a numerical assessment of the dynamic quality of the machine. The connection between the margin of safety and wheel wear during machining of bearing rings has been experimentally established. The comparison of machines on dynamic quality is carried out.

Key words: grinding machines, dynamic system, vibro-acoustic oscillations, transfer function, Hurwitz criterion, autocorrelation function, supply range, wear circle, stability margin.

УДК 621.914.1 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-15

Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Божко Т.Є.

Луцький національний технічний університет

ПРО ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРИВЧАСТОГО КРУГА НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНІ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ

В роботі розглядається вплив конструктивних параметрів переривчастого круга на температуру в зоні безцентрового шліфування. На показник теплонапруженості процесу безцентрового шліфування поверхонь обертання підшипників впливає значна кількість технологічних чинників серед яких схема шліфування, спосіб охолодження та ряд фізико-хімічних чинників.

У роботі проведено експериментальні дослідження, які підтвердили результати моделювання температурних процесів у зоні безцентрового переривчастого шліфування заготовки. Площа контакту абразивного кола із заготовкою являє собою вузьку смужку прямокутної форми, яка рухається по поверхні заготовки. У цьому випадку температурне поле можна розрахувати за схемою рухомого нескінченно довгого джерела поверхневої смуги.

Ключові слова: модель, шліфувальний круг, шліфування, температура, деталь.

Вступ. Ідея створення переривчастого шліфування складається з періодичного переривання контакту круга з деталлю і виключення теплового насичення поверхневих шарів оброблюваного матеріалу для зменшення температури різання. Характерною особливістю переривчастого шліфування є самооформлення макро профіля робочих виступів круга. Процес знімання матеріалу в таких умовах відрізняється від звичайного шліфування.

Математична модель процесу шліфування як об'єкта управління повинна відображати взаємозв'язок сил різання і регулюючих впливів, враховуючи вплив на динаміку процесу шліфування зносу круга і характеристик пружної системи [1].

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Теоретичне дослідження температур для різних схем шліфування дозволяє зробити висновок, що граничний стан температурного поля (теплового насичення) настає не відразу після початку процесу шліфування. Від початку процесу до встановлення граничного стану існує малий, але фізично відчутний проміжок часу, протягом якого шліфування протікає в нестационарному режимі. Наявність цього тимчасового проміжку можна підтвердити експериментально, шляхом визначення температури. Нестационарний режим роботи в процесі шліфування відкриває принципову можливість зниження контактних температур за рахунок періодичного переривання процесу [2].

Зона контакту абразивного круга з деталлю під час безцентрового шліфування поверхонь обертання представляє вузьку смужку прямокутної форми, що рухається вздовж поверхні деталі. Температурне поле в такому випадку можна розраховувати за схемою рухливого нескінченно довгого поверхнево-смугового джерела. Під час шліфування температурне поле в системі координат, зв'язаної з джерелом, починає прямувати до стану теплового насичення, процес встановлюється і поле стає квазістационарним. Інтервал до настання наступного циклу повинен бути таким, щоб поверхня встигла охолонути до вихідної температури. Такий процес можна реалізувати, якщо поверхню абразивного круга зробити не суцільною, а переривчастою, тобто розбити її на ряд виступів, які чергуються. Для визначення розмірів різального виступу та канавок необхідно знати час теплового насичення та час охолодження до вихідної температури [3].

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання задачі, пов'язаної зі розрахунком температури в зоні різання у роботі було прийнято наступну розрахункову схему (рис.1).

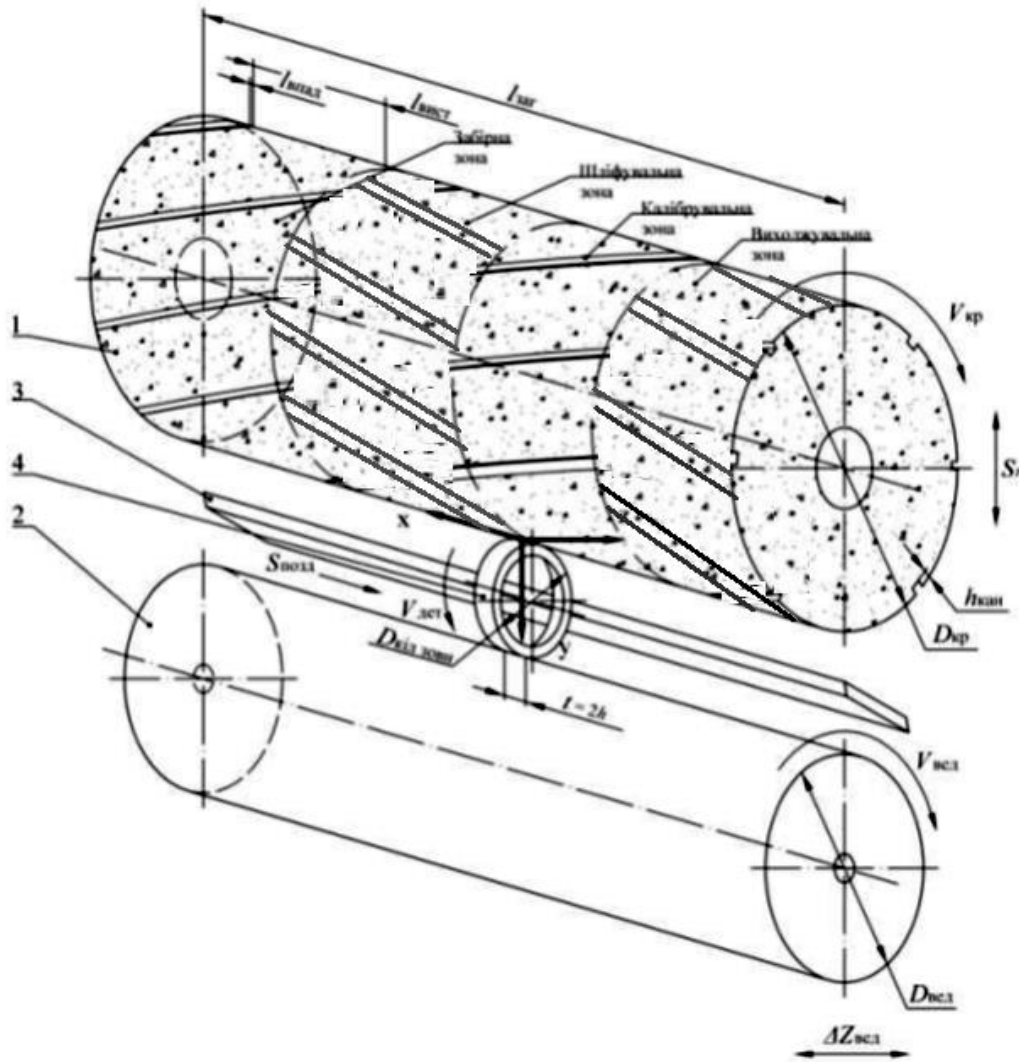


Рис.1. Розрахункова схема утворення нескінченного сегментоподібного теплового джерела:
1 – шліфувальний круг; 2 – ведучий круг; 3 – ніж опорний; 4 – заготовка

Для того щоб виконувати розрахунки з позитивними значеннями аргументу початок системи координат, зв'язаної з джерелом, помістимо на задню поверхню джерела. За цих умов математична задача сформулюється наступним чином: маємо основне диференціальне рівняння теплопровідності, що з урахуванням руху теплового джерела має вигляд [4]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \right) + V_0 \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \quad (1)$$

де θ – температура; a – коефіцієнт теплопровідності; V_0 – швидкість обертання деталі (заготовки); τ – час контакту круга з заготовкою.

Таким чином, задача знаходження розв'язку рівняння теплопровідності (1) зводиться до розв'язку рівняння $\theta = f(X, Y, Z, \tau)$ методом теплових джерел [2]. Суть методу теплових джерел полягає в тому, що будь-який процес можна представити як суму процесів вирівнювання температури від нескінченної кількості елементарних джерел тепла, розподілених у просторі та часі. Дія елементарного джерела в нескінченному масиві характеризується функцією джерела:

$$\theta(X, Y, Z, X', Y', Z', \tau) = \frac{2Q}{c \cdot \rho \cdot (4\pi \cdot a \cdot \tau)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{(X-X')^2 + (Y-Y')^2 + (Z-Z')^2}{4a \cdot \tau}\right) \quad (2)$$

де Q – кількість тепла, що миттєво виділилося в точці з координатами X' , Y' , Z' ; c – питома теплоємність; ρ – густина матеріалу.

Провівши певні перетворення оримаємо:

© Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Божко Т.Є.

$$\int_0^{2h} \exp\left(-\frac{X^2 + (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot dZ' = \sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot (1 - \Phi(U_1)). \quad (3)$$

Тоді температурне поле в процесі теплового насичення визначається залежністю:

$$\theta = \frac{g}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^\tau \frac{1}{\tau} \sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot (1 - \Phi(U_1)) \cdot d\tau = \frac{g\sqrt{a}}{2\sqrt{\pi} \cdot \lambda} \cdot \int_0^\tau \frac{1 - \Phi(U_1)}{\sqrt{\tau}} \cdot d\tau. \quad (4)$$

Якщо $Z=2h$, то $U_1 = \frac{Z - 2h + V_\delta \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = \frac{V_\delta \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = \frac{V_\delta \cdot \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}$.

$$dU_1 = \frac{V_\delta}{2\sqrt{a}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\tau}} \cdot d\tau \Rightarrow \frac{d\tau}{\tau} = \frac{4\sqrt{a}}{V_\delta} dU_1. \quad (5)$$

при $\tau = 0; U_1 = 0; U_1 = \frac{V_\delta \cdot \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}$.

Після проведених перетворень отримали рівняння, що виражає залежність температури на шліфованій поверхні від часу:

$$\theta = \frac{2g \cdot a}{\lambda \cdot \sqrt{\pi} \cdot V_\delta} \cdot \left[\frac{V_\delta \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}} \left(1 - \Phi\left(\frac{V_\delta \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}\right) \right) - \frac{\exp\left(-\frac{V_\delta^2 \cdot \tau}{4a}\right) - 1}{\sqrt{\pi}} \right]. \quad (5)$$

Виразом (5) зручно користуватися, якщо представити залежність між температурою та часом у критерійному вигляді.

Прийнявши $Q_n = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot V_\delta \cdot \theta}{2g \cdot a}$ за відносну температуру, вираз (5) набуде вигляду:

$$(Q_n = \sqrt{P^2 \cdot F} \cdot (1 - \Phi(\sqrt{P^2 \cdot F})) - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp[-(P^2 \cdot F) - 1]). \quad (6)$$

Залежність (6) дозволяє визначити час, протягом якого температура поверхні досягне якої-небудь заздалегідь заданої величини. На рис. 2 наведено графічну залежність виразу (6) від критеріїв $P^2 \cdot F$ [5].

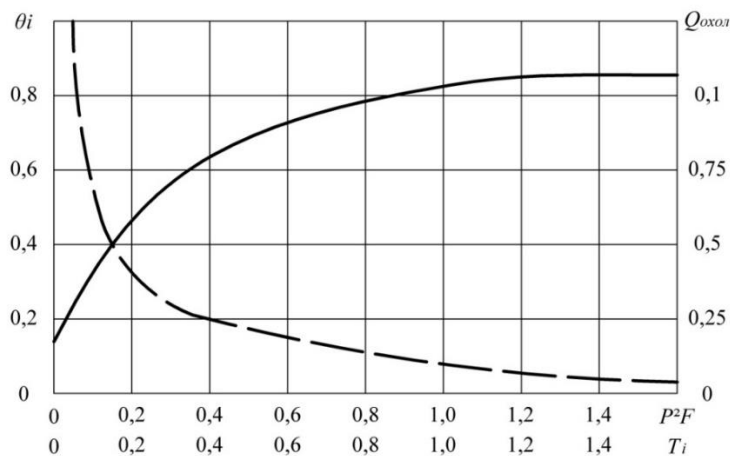


Рис. 2. Зміна температури за часом теплового насичення

Другим етапом теоретичних розрахунків температури в зоні різання під час оброблення абразивним переривчастим інструментом є визначення величини зниження температури залежно від часу припинення процесу шліфування.

Розглянемо задачу про зміну температури вільної поверхні шляхом теплообміну. Зміну середньої температури вважаємо постійною для фіксованого моменту часу. Для оцінки процесу охолодження вільної поверхні прийемо наступну теплову схему: оскільки швидкості охолодження поверхні за рахунок теплообміну з ЗОР після припинення дії джерела тепла великі, то можна знехтувати розсіюванням тепла по осі Z за рахунок теплопровідності. За рахунок введення цього припущення розрахунковий процес охолодження поверхні буде відбуватися дещо повільніше, ніж реальний.

Таким чином, задачу зміни середньої температури поверхні в процесі охолодження зведено до вирішення наступного рівняння:

Розв'язком такої задачі при $X=0$ буде наступна функція [124]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau_{\text{охол}}} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}. \quad (7)$$

$$\frac{\theta - \theta_{\text{охол}}}{\theta_0 - \theta_{\text{охол}}} = \exp \left[\left(\frac{\alpha \cdot n}{\lambda} \right)^2 \cdot a \cdot \tau_{\text{охол}} \right] \cdot \left[1 - \Phi \left(\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{\text{охол}}} \right) \right]. \quad (8)$$

Записавши рівняння в вигляді критерію, отримаємо:

$$Q_{\text{охол}} = \exp \theta_i^2 \cdot [1 - \Phi(\theta_i)], \quad (9)$$

де $\theta_i = \frac{\alpha \cdot \sqrt{\tau_{\text{охол}}}}{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$ – критерій Тихонова.

Розрахуємо геометричні параметри і час, після закінчення якого забезпечується зниження температури на 25-30% від максимального значення.

Вихідні дані: матеріал деталі сталь ШХ15; швидкість деталі $V_d=600$ мм/хв; швидкість круга $V_{\text{кр}}=30$ м/с; $v_{\text{випр ЗОР}}=7$ л/с; зовнішній радіус шліфувального круга $R=250$ мм; ширина зони контакту $h=12$ мм; коефіцієнт теплообміну

$v \approx 5,2 \cdot 10^4 v_{\text{випр}}^{0,8}$ Вт/м²·°C; коефіцієнт теплопровідності матеріалу $a = 0,08$ см²/с; коефіцієнт теплопровідності матеріалу $\lambda=39 \dots 40$ Вт/м·°C при температурі 400°C.

З графіку (рис. 2) видно, що $Q = 0,75$ та відповідає комплексу $P^2 \cdot F = 0,63$, отже:

$$\tau = \frac{0,63 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{(5/60)^2} = 0,0029 \text{ с}. \quad (10)$$

Час досягнення визначеної температури залежить від швидкості джерела, що дозволяє змінювати цей час у широких межах. Після того, як процес шліфування припинився, наступає невеликий часовий проміжок, протягом якого поверхня охолоджується потоком ЗОР. Проміжок часу між двома сусідніми робочими виступами повинен бути таким, щоб поверхня могла охолонути на визначену величину. Оскільки поверхня в перерві між робочими циклами вільна, теплообмін здатний істотно змінити її температуру.

Час, необхідний для охолодження поверхні знайдемо виходячи з умови $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{\text{охол}}} = 0,24$ (рис.2). Підставивши дані, було отримано наступне:

$$\tau_{\text{охол}} = \frac{0,24^2 \cdot 40^2}{(5,2 \cdot 10^4 \cdot 7 \cdot 0,8)^2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 0,0021 \text{ с}. \quad (11)$$

Знаючи час охолодження можна визначити ширину канавки на циліндричній поверхні шліфувального круга:

$$l_{\text{канавки}} = V_{\text{кр}} \cdot \tau_{\text{охол}} = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,00021 = 6,3 \quad (12)$$

Ширину різального виступу знайдемо з умови:

$$l_{\text{виступу}} = V_{\text{кр}} \cdot \tau = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,0029 = 87 \quad (13)$$

Однакового зниження температури можна досягнути при різних співвідношеннях різального виступу та впадини. Оскільки $l_{\text{кан}}/l_{\text{вист}} < 0,1$, то механічна стійкість переривчастого круга не поступається суцільному, тому є можливість зменшити число пазів шляхом збільшення ширини канавки та різального виступу [6].

Число різальних виступів можна визначити з умови:

$$\varepsilon_{\text{вис}} = \frac{2\pi \cdot R}{l_{\text{впад}} + l_{\text{вис}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 250}{12 + 119} = 12 \quad (14)$$

Висновки. В результаті було отримано адекватне рівняння математичної моделі теплонапруженості безцентрового шліфування, на основі якого встановлено закономірність

зміни температури та проведено моделювання теплонапруженості процесу різання, шляхом вибору раціональних режимів.

Дослідження температури від $V_{кр}$, V_d , t для випадку шліфування сталі ШХ15 показало, що практично за будь-яких режимів різання температура контакту абразивного переривчастого інструменту з подачею ЗОР через канавки помітно нижча, ніж для суцільного круга з подачею ЗОР методом поливу. До того ж чим інтенсивніші режими шліфування, тим ця різниця більша.

Причини зниження температури під час переходу від суцільного шліфування до переривчастого наступні:

по-перше, це менша інтенсивність теплоутворення. Потужність тепловиділення пропорційна тангенціальній силі різання P_z , а вона під час переривчастого шліфування нижча на 20...30%, ніж при суцільному шліфуванні;

по-друге, канавки переривчастого інструменту розраховані так, щоб за час контакту різального виступу з оброблюваною поверхнею температура не встигала встановитися і, отже, не досягала свого максимального значення.

Регулюючи ширину виступів, можна керувати процесом теплоутворення в будь-який момент, від початку контакту, забезпечуючи регламентоване значення температури. За час переривання контакту, тривалість якого залежить від ширини канавки, відбувається охолодження контактної поверхні заготовки, потім знову нагрівання і тощо. Чим менше відношення ширини виступу до ширини канавки круга, тим нижча температура переривчастого шліфування за інших рівних умов. В процесі переривчастого шліфування ЗОР подається безпосередньо в зону різання, чого під час суцільного шліфування досягнути складно, тому тепловідведення в зовнішнє середовище під час переривчастого шліфування інтенсивніше, ніж під час звичайного.

Інформаційні джерела

1. Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликотішлипників [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 / Марчук Віктор Іванович; Луцький держ. технічний ун-т. - Луцьк, 2004. - 458 арк.+ дод.: 150арк. - арк. 430-458
2. Марчук В.І., Равенець Л.М., Гринюк С.В. Технологічне керування теплонапруженістю процесу безцентрового шліфування кілець роликотішлипників// Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вил. 7. - 2015. - С. 87-90.
3. Marchuk V., Hrynjuk S., Hrysjuk I. An analysis of intercommunications of technological factors is with indexes of quality of polishing operations // Technological Complexes. - Lutsk, 2017 - №1(14) -Р. 36-43.
4. Марчук В.І., Марчук І.В., Гринюк С.В., Сачковська Л.О. Моделювання процесу безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець роликотішлипників в умовах серійного виробництва // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки») - Луцьк: Луцький НТУ, 2019. Вип. 66. - С. 234-239.
5. Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Сачковська Л.О. Динамічна модель процесу шліфування переривчастими кругами // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №16. - С.33-37. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-5>
6. Marchuk V.I., Marchuk I.V., Dzhuguryan T.G., Grinyuk S.V., Karpuyuk V.O. On the influence of operating characteristics of grinded wheels on the quality indicators of grinded parts // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №17. - С.86-92. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-17-13>
7. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.
8. 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 doi: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-8>
9. 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 DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-23>

Marchuk V.I., Hryniuk S.V., Marchuk I.V., Bozhko T.

Lutsk National Technical University

ON THE INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A BREAKING CIRCUIT ON TEMPERATURE IN THE ZONE OF CENTERLESS GRINDING

The paper considers the influence of the design parameters of the discontinuous circle on the temperature in the area of centerless grinding. The rate of thermal stress of the process of centerless grinding of bearing surfaces is influenced by a significant number of technological factors, including the grinding scheme, the method of cooling and a number of physico-chemical factors.

Experimental studies were carried out, which confirmed the results of modeling of temperature processes in the area of centerless intermittent grinding of the workpiece. The area of contact of the abrasive wheel with the workpiece is a narrow strip of rectangular shape, which moves on the surface of the workpiece. In this case, the temperature field can be calculated according to the scheme of a moving infinitely long source of the surface strip.

Key words: model, grinding wheel, grinding, temperature, detail.

Марчук В.И., Гринюк С.В., Марчук И.В., Божко Т.Е.

Луцкий национальный технический университет

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕВЕРСТВЕННОГО КРУГА НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе рассматривается влияние конструктивных параметров прерывистого круга на температуру в зоне бесцентровой шлифовки. На показатель теплонапряженности процесса бесцентрового шлифования поверхностей вращения подшипников влияет значительное количество технологических факторов, среди которых схема шлифования, способ охлаждения и ряд физико-химических факторов.

В работе проведены экспериментальные исследования, подтвердившие результаты моделирования температурных процессов в зоне бесцентрового прерывистого шлифования заготовки. Площадь контакта абразивной цепи с заготовкой представляет собой узкую полосу прямоугольной формы, которая движется по поверхности заготовки. В этом случае температурное поле можно рассчитать по схеме движущегося бесконечно длинного источника поверхностной полосы.

Ключевые слова: модель, шлифовальный круг, шлифовка, температура, деталь.

УДК 004.9 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-16

В.І. Марчук, І.В. Марчук, Ю.А. Лук'яничук, Гринюк С.В.
Луцький національний технічний університет

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ МЕТОДОМ ПОШАРОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

В даній статті описано використання адитивних технологій, яке використовують під час підготовки фахівців інженерних спеціальностей. На виробництві користуються сучасними засобами для виготовлення деталей різних форм складності на основі 3D-друку, що, у свою чергу, зменшує витрати часу на впровадження нового або переналадження вже існуючого обладнання. Існує необхідність формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес. Вивчення методології та основ 3D-друку для сучасного виробництва і підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці є доцільним для майбутнього інформаційного суспільства.

Ключові слова: 3D-технології, тривимірний друк, програмне забезпечення, пряме лазерне спікання (DMLS).

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

В умовах сучасного ринку і постійного зростання конкуренції якнайшвидше створення інноваційного продукту є життєво важливим для успішного розвитку будь-якого підприємства. Світові виробники розуміють, що в сучасному світі, щоб бути на лідируючих позиціях, потрібно максимально оперативно втілювати нові ідеї в працездатні рішення. Це неможливо без генерації цих ідей і без нових технічних рішень для якнайшвидшого їх втілення в життя [1]. Тому використання технології 3D-друку буде одним з кращих технічних рішень для прискорення реалізації різних нових ідей в життя. А процес моделювання технологічних процесів стане корисним при розробці нових продуктів, оскільки віртуально можливо побачити увесь життєвий цикл виготовлення та вносити корективи у роботу обладнання [2, 3].

У зв'язку з цим актуальним є питання формування у майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери компетентності в галузі 3D-моделювання та 3D-друку у процесі професійної підготовки за допомогою програмного забезпечення, що моделює технологічний процес. Для забезпечення формування зазначеної компетентності та, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності майбутніх кваліфікованих робітників ІТ-сфери на ринку праці доцільним є вивчення основ 3D-друку.

Свої професійні навички за допомогою 3D-технології можуть удосконалювати майбутні інженери, дизайнери, архітектори, медики та студенти багатьох інших спеціальностей [4, 5].

Адитивне виробництво, або 3D-друк, - процес створення тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі їх цифрових моделей. Концепція 3D-друку заснована на побудові об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображують контури моделі.

Адитивні технології широко використовуються для прототипування і розподіленого виробництва в архітектурі, будівництві, промисловому дизайні, автомобільній, аерокосмічній, промисловій, інженерній та медичній галузях, біоінженерії (для створення штучних тканин), виробництві модного одягу та взуття, ювелірних виробів, в освіті, географічних інформаційних системах, харчовій промисловості та багатьох інших сферах людської діяльності.

Технологічні особливості процесу тривимірного друку, що головним чином залежать від технології адитивного виробництва, лежить в основі цього процесу [6,7]. Класифікація основних методів і технологій, що застосовуються в тривимірному друку на сьогоднішній день, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Метод	Базова технологія	Матеріали, що використовуються
Екструзійний	Моделювання методом пошарового наплавлення (FDM, FFF)	Термопластичні полімери (поліактид (PLA), акрилонітрилбутадієнстирол (ABS))
Дротовий	Виробництво довільних форм електронно-променевої плавки (EBF)	Майже всі металеві сплави
Порошковий	Пряме лазерне спікання (DMLS)	Майже всі металеві сплави
	Електронно-променева плавка (EBM)	Титанові сплави
	Вибіркове лазерне плавлення (SLM)	Титанові сплави, кобальт-хромові сплави, нержавіюча сталь, алюміній
	Вибіркове теплове спікання (SHS)	Порошкові термопластичні полімери
	Вибіркове лазерне спікання (SLS)	Термопластичні полімери, металеві порошки, керамічні порошки
Струменевий	Струменевий тривимірний друк (3DP)	Гіпс, пластики, металеві порошки, піщані суміші
Ламінування	Виготовлення об'єктів методом ламінування (LOM)	Папір, металева фольга, пластикова плівка
Полімеризація	Стереолітографія (SLA)	Фотополімери
	Цифрова світлодіодна проекція (DLP)	Фотополімери

Оскільки представлені в таблиці методи друку суттєво розрізняються по принципах, що лежать в їх основі, умовам застосовності, матеріалами, формою і функціональним призначенням виробів, одержуваних з їх допомогою, варто вивчати кожен з методів окремо.

Одним із найбільш поширених та затребуваних у високоточному виробництві, що спеціалізується на виготовленні виробів із точністю до 0,05мм, є метод пошарового наплавлення для різних сфер промисловості. Вивчення цього методу є доцільним та актуальним, оскільки на сьогоднішній день існує велика потреба у фахівцях IT-галузі, що здатні програмувати обладнання для виготовлення високоточних прототипів.

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

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

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

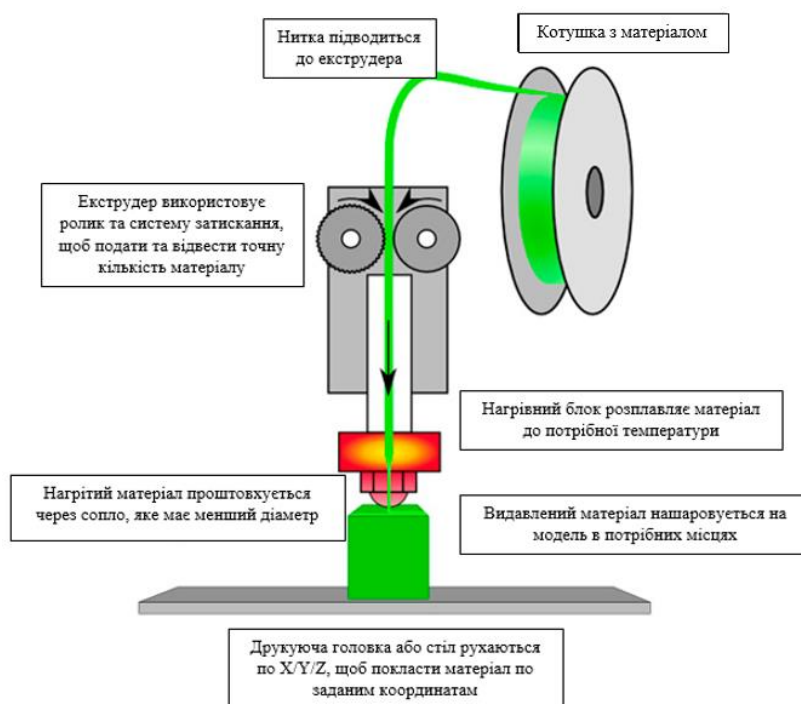


Рис. 1. Схема пристрою 3D-принтера екструзивного типу

Виробничий цикл починається з обробки тривимірної цифрової моделі. Модель ділиться на шари і орієнтується найкращим чином для друку. При необхідності генеруються опори, що необхідні для друку елементів, що нависають. Деякі пристрої дозволяють використовувати різні матеріали під час одного виробничого циклу. Наприклад, можливий друк моделі з одного матеріалу з друком опор з іншого, легкорозчинного, матеріалу, що дозволяє з легкістю видаляти підтримки після завершення процесу друку. Альтернативно можливий друк різними кольорами одного і того ж виду пластику при створенні єдиної моделі.

Виріб проводиться видавлюванням (екструзією) і нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластичного полімеру з формуванням послідовних шарів, що застигають відразу після екструзії.

Пластикова нитка розмотується з котушки і подається в екструдер - пристрій, що оснащений механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу і соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія. Нагрівний елемент служить для нагрівання сопла, яке в свою чергу плавить пластикову нитку і подає розплавлений матеріал на модель. Як правило, верхня частина сопла, навпаки, охолоджується за допомогою вентилятора для створення різкого градієнта температур, необхідного для забезпечення плавної подачі матеріалу.

Екструдер переміщається в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, що аналогічні в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщується по траєкторії, заданій системою автоматизованого проектування (САПР). Модель будується шар за шаром, від низу до верху. Екструдер («друкована головка») приводиться в рух кроковими двигунами або сервоприводами. Найбільш популярною системою координат, яка застосовується в технології FDM, є декартова система, побудована на прямокутному тривимірному просторі з осями X, Y і Z. Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується дельта-роботами.

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

Існує кілька проектів, спрямованих на переробку використаного пластику в матеріали для 3D-друку. Проекти засновані на виготовленні витратних матеріалів за допомогою шредерів і переплавляючих пристроїв.

Технологія пошарового наплавлення має певні обмеження за складністю створюваних геометричних форм. Наприклад, створення навісних конструкцій неможливо через відсутність необхідної підтримки. Це обмеження компенсується створенням тимчасових опорних конструкцій, що видаляються після закінчення друку. Головною перевагою цієї технології є її доступність.

Кваліфіковані робітники IT-сфери, а саме фахівці використання 3D-друку в промисловості, повинні бути компетентними у виборі витратних матеріалів, оскільки кожен із них має власні характеристики та особливості застосування, а самі вироби мають різне призначення. Надалі розглянемо найпоширеніші матеріали.

Полілактид (полімолочна кислота, ПЛА, polylactic acid, PLA) - один з найбільш широко використовуваних в 3D-друці полімерів (рис.2). Це біорозкладаний, біосумісний, термопластичний, аліфатичний полієфір, мономером якого є молочна кислота.

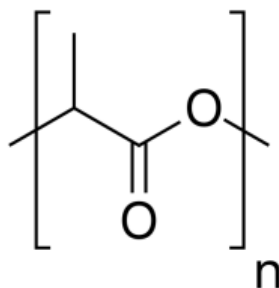


Рис. 2. Хімічна формула полілактиду

Сировиною для виробництва служать щорічно поновлювані ресурси, такі, як кукурудза і цукровий очерет. Використовується для виробництва виробів з коротким терміном служби (харчова упаковка, одноразовий посуд, пакети, різна тара), а також в медицині, для виробництва хірургічних ниток і штифтів.

Поширеність полілактиду в адитивному виробництві обумовлюється відразу двома факторами. По-перше, полілактид повністю безпечний для навколишнього середовища. По-друге, оскільки він є полімером молочної кислоти, полілактид повністю біорозкладаний.

У той же час здатність полілактиду до біорозпаду обумовлюється його недовговічністю. Пластик вбирає воду і відносно м'який. Як правило, моделі з PLA не призначаються для функціонального використання, а служать в якості дизайнерських моделей, сувенірів та іграшок. Серед небагатьох практичних промислових застосувань полілактиду можна відзначити виробництво упаковки для харчових продуктів, контейнерів для лікарських препаратів і хірургічних ниток, а також використання в підшипниках, що не несуть високе механічне навантаження.

ABS-пластик (Акрилонітрілбутадієнстірол, ABS) - на сьогоднішній день це найпопулярніший полімер з використовуваних в 3D-друці. ABS-пластик - це ударостійкий термопластичний полімер (рис.3).

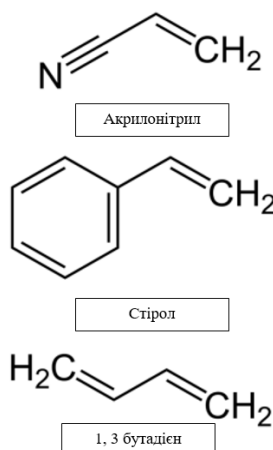


Рис. 3. Мономери для синтезу ABS-пластика

Широкое поширення ABS-пластику обумовлюється відмінними механічними властивостями, довговічністю і низькою вартістю цього матеріалу. ABS-пластик набув широкого застосування в промисловості. Він застосовується для виготовлення:

- деталей автомобілів (приладових щитків, елементів ручного управління, радіаторної решітки);
- корпусів великої побутової техніки, радіо- і телеапаратури, деталей електроосвітлювальних і електронних приладів, пилососів, кавоварок;
- пультів управління;
- телефонів, факсових апаратів, комп'ютерів, моніторів, принтерів, калькуляторів, іншої побутової та оргтехніки;
- корпусів промислових акумуляторів;
- спортінвентарю;
- деталей зброї;
- меблів;
- сантехніки;
- вимикачів і перемикачів;
- канцелярських виробів;
- музичних інструментів;
- іграшок і дитячих конструкторів;
- валіз і контейнерів;
- деталей медичного обладнання.

Крім того, ABS-пластик застосовується як добавка, що підвищує теплостійкість і покращує засвоюваність композиційних матеріалів на основі полівінілхлориду (ПВХ), як добавка, що підвищує ударну в'язкість полістиролу, а також як добавка, що знижує ціну полікарбонатів.

ABS-пластик стійкий до вологи, кислот і мастильних речовин, має високі показники термостійкості. Деякі види матеріалу руйнуються під дією прямого сонячного світла, що обмежує використання. У той же час ABS-пластик легко піддається фарбуванню, що дозволяє наносити захисні покриття на немеханічних елементи.



Рис. 4. Стільці з ABS -пластика

Полівінілхлорид (ПВХ, poly (vinyl alcohol), PVA, PVAI) - штучний, водорозчинний, термопластичний полімер (рис.5).

Синтез полівінілового спирту здійснюється реакцією лужного або кислотного гідролізу складних полівінілових ефірів. PVA - твердий полімер білого кольору без смаку і запаху, нетоксичний.

На відміну від більшості полімерів на основі вінілових мономерів, PVA не може бути одержаний безпосередньо з вінілового спирту. Основною сировиною для отримання PVA служить полівінілацетат.

Крім тривимірного друку полівініловий спирт широко застосовується в різних галузях промисловості, наприклад в якості:

- клею для паперу та плит;
- згущувача і модифікатора клеїв на основі полівінілацетату;
- клею для текстильних матеріалів;
- покриттів;
- водорозчинних плівок;
- очних крапель і мастил жорстких контактних лінз;

- армуючих добавок в бетони;
- сировини для полівінілнітрата;
- поверхнево-активних речовин;
- захисних рукавичок.

Полівінілхлорид має унікальні властивості і особливі області застосування. Головною особливістю PVA є його водорозчинність. 3D-принтери, оснащені подвійними екструдерами, мають можливість друку моделей з підтримками з PVA. По завершенні друку опори можуть бути розчинені у воді, залишаючи готову модель, яка потребує механічної або хімічної обробки. Подібним чином полівініловий спирт можна застосовувати для створення водорозчинних майстер-моделей для ливарних форм і самих ливарних форм.

Нейлон - це синтетичний поліамід, що використовується переважно в виробництві волокон (рис.6). Під цим терміном найчастіше розуміються полігексаметіленадіпінамід (нейлон-66), або полі-ε-капроамід (капрон або нейлон-6). Найбільш популярним в 3D друці є нейлон-66. Цей полімер був розроблений американською компанією DuPont в 1935 році.

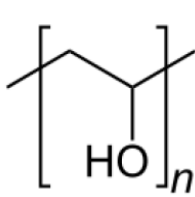


Рис. 5. Хімічна формула PVA

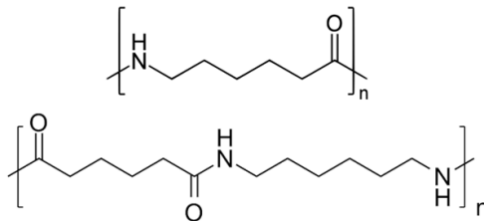


Рис. 6. Хімічна формула нейлону

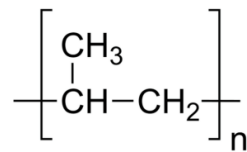


Рис. 7. Хімічна формула поліпропілену

У кристалічних ділянках макромолекули нейлону мають конфігурацію плоского зигзагу з утворенням з сусідніми молекулами водневих зв'язків між атомами кисню карбоніла і атомами водню сусідніх амідних груп. Внаслідок цього нейлони мають кращі, в порівнянні з поліефіром, фізико-механічні властивості.

У промисловості нейлон застосовується для виготовлення втулок, вкладишів, плівок і тонких покриттів.

Поліпропілен (PP) - термопластичний полімер пропілену (рис.7). Поліпропілен широко застосовується у виробництві пакувальних матеріалів, посуду, шприців, труб, нетканних матеріалів і електроізоляції. Поліпропілен має низьку щільність, нетоксичний, має високу хімічну стійкість, стійкий до вологи і зносу. Серед недоліків поліпропілена слід зазначити низьку морозостійкість (при мінусових температурах матеріал стає крихким) і вразливість до прямого впливу сонячного світла.

Поліпропіленові нитки для друку пропонуються компаніями Orbi-Tech, German RepRap, Qingdao TSD. Компанія Stratasys розробила імітатор поліпропілену, що оптимізований для 3D-друку, під назвою Endur.

Поліетилентерефталат (PETG) - продукт поліконденсації етиленгліколю з терефталевою кислотою (рис.8).

Це тверда безбарвна прозора речовина в аморфному стані і біла непрозора в кристалічному стані. Матеріал використовується для виробництва пластикових пляшок та іншої харчової та медичної тари. Поліетилентерефталат має високу хімічну стійкість до кислот, лугів і органічних розчинників. Поліетилентерефталат має високу зносостійкість і стійкість до широкого діапазону температур. Крім того, PETG легко піддається механічній обробці.

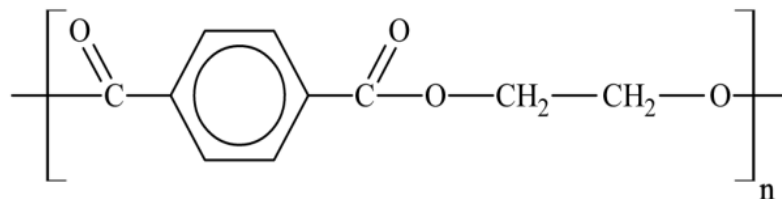


Рис. 8. Хімічна формула PETG

Відповідно до дослідження використання адитивних технологій, можна зробити висновок про необхідність вивчення 3D моделювання та 3D друку майбутніми спеціалістами інженерних спеціальностей. Розвиток технологій спонукає до пришвидшеного вдосконалення

навичок фахівців. Їх можна покращувати за допомогою різноманітних практик та досвіду провідних компаній у галузях застосування адитивних технологій.

Література

1. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. Международный центр теоретической физики Абдус Салам. 2013. 191 с.
2. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
3. История и технологии трехмерной печати / Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир, А.М. Геращенко, А.В. Тыртышный // Научные труды КубГТУ. Краснодар: №5. 2015.
4. Применение 3D-принтеров в машиностроении. URL: <http://www.printcad.ru/primeneniya-3d-printerov/mashinostroenie.html>.
5. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
6. Hausman K. 3D-Printing For Dummies / For Dummies. 2014. 384 p.
7. Larson H. Fabricated: The New World of 3D-Printing / H. Larson, M. Kurman – Wiley. 2013. 280 p.

В.И. Марчук, И.В. Марчук, Ю.А. Лукьянчук, С.В. Гринюк
Луцкий национальный технический университет

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

В данной статье описано использование аддитивных технологий, которое используют при подготовке специалистов инженерных отраслей. На производстве пользуются современными средствами для изготовления деталей различных форм сложности на основе 3D-печати, что, в свою очередь, уменьшает затраты времени на внедрение нового или переналадки уже существующего оборудования. Существует необходимость формирования у будущих квалифицированных рабочих ИТ-сферы компетентности в области 3D-моделирования и 3D-печати в процессе профессиональной подготовки с помощью программного обеспечения, моделирующего технологический процесс. Изучение методологии и основ 3D-печати для современного производства и повышение конкурентоспособности будущих квалифицированных рабочих ИТ-сферы на рынке труда целесообразно для будущего информационного общества.

Ключевые слова: 3D-технологии, трехмерная печать, программное обеспечение, прямое лазерное спекание (DMLS).

V. Marchuk, I. Marchuk, I. Lukyanchuk, S. Gryniuk
Lutsk National Technical University

ABOUT FEATURES OF USE CONSUMABLES FOR THREE-DIMENSIONAL PRINTING BY LAYERED LAYING

This article describes the additive technologies used in the training of engineering specialists. The production uses modern tools for the manufacture of parts of various forms of complexity on the basis of 3D-printing, which, in turn, reduces the time spent on the introduction of new or reconfiguration of existing equipment. There is a need to form in future skilled IT workers competence in the field of 3D modeling and 3D printing in the process of training with the help of software that simulates the technological process. Studying the methodology and basics of 3D printing for modern production and increasing the competitiveness of future skilled IT workers in the labor market is appropriate for the future information society.

Keywords: 3D-technologies, three-dimensional printing, software, direct laser sintering (DMLS).

УДК 53:004.9

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17

Никируй Л.І.¹, Федосов С.А.², Яремій І.П.¹, Замурусва О.В.², Федосов В.С.³, Сахнюк П.В.⁴¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника²Волинський національний університет імені Лесі Українки³Сервіс-груп «SEOtodo»⁴ТОВ «Mirko Solutions»

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ

Стаття аналізує публікації авторитетних світових і українських науковців в області комп'ютерної фізики для розуміння закономірності щодо підтримки та розвитку цього напрямку у світі та в Україні і визначити перспективи для спільних досліджень. Розглянуто особливості міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у науковій області, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток цієї області. Дослідження базується на результатах даних, опублікованих у міжнародній наукометричній базі Scopus. Виконано аналіз і сформульовано рекомендації для покращення поширення результатів вітчизняних вчених у світовій науковій спільноті за цим напрямком.

Ключові слова: комп'ютерна фізика, публікації, наукові дослідження, h-індекс.

Вступ. Чисельні розрахунки фізичних властивостей напівпровідникових матеріалів електронної техніки і подальше моделювання конструкції пристроїв (сенсорів, сонячних, термо-, фото- елементів та ін.) на їх основі на даний час становлять значний науковий інтерес [1]. Застосування чисельного моделювання для симуляції розширених вимірювань на складних структурах, проектування та оптимізація передових конструктивних рішень для реалізації у сучасному напівпровідниковому приладобудуванні відкриває можливість зменшення часу та затрат на проведення дороговартісних експериментів [2]. Все більшої актуальності набувають дослідження, які є на стику різних наук, наприклад, фізика і електроніка, фізика і інформатика (комп'ютерні науки), тощо. Це є наслідком нових викликів, коли перед науковцями ставляться завдання, де потрібно знаходити нові рішення, використовуючи дослідницькі бази інших наук. Тому закономірним є виникнення нових міжгалузевих напрямків, серед яких: відновлювальна енергетика, комп'ютерна фізика, мехатроніка, тощо. Отже, для отримання конкурентних наукових результатів і підготовки фахівців високого рівня, важливим є аналіз проблем у таких перехресних областях різних наук.

Методологія досліджень. Проведено аналіз публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus з пошуку за ключовими словами (тегом) «Computer physics» (Комп'ютерна фізика) у ключових словах (keywords) наукових статей за період 1993-2021 рр. Вибірку зроблено за результатом аналізу таких матеріалів: найбільш цитованих публікацій із афіліацією у світі, найновіших публікацій із афіліацією в світі та, аналогічно, із афіліацією в Україні. Аналізувалися: афіліація авторів, країни авторів, наявність фінансової підтримки досліджень, журнал, у якому здійснено публікацію, рік публікації та їх кількість, а також і самі публікації. Така методика була запропонована і апробована у [3-5].

Аналіз результатів. У наукометричній базі даних Scopus за період 1993-2021 рр. опубліковано 20 879 документів, що відповідають критерію пошуку «Computer physics» (Комп'ютерна фізика). Сумарний h-індекс для них складає $h = 262$. Більше третини всіх робіт (рис. 1) опубліковано вченими з США. Серед країн-лідерів, також: Німеччина, Китай, Великобританія, Франція, Італія, Японія тощо. Самі ж дослідження з даної тематики зосереджено у провідних науково-дослідних центрах, серед яких: *Європейська організація з ядерних досліджень* (Швейцарія), *Китайська академія наук*, *Національний центр наукових досліджень CNRS* (Франція) і (усі із США) *Массачусетський технологічний інститут*, *Національна прискорювальна лабораторія ім. Енріко Фермі*, *Національна лабораторія ім. Лоуренса в Берклі* тощо. Закономірно, що провідні центри належать саме країнам-лідерам.

Для науковців з українських організацій кількість публікацій присвячених проблемам комп'ютерної фізики значно менша ніж загальносвітова – 149 із h-індексом 18. Провідними українськими установами за кількістю публікацій, які пов'язані з дослідженнями в області комп'ютерної фізики є (кількість публікацій у Scopus): *Національна академія наук України* (41), *Вінницький національний технічний університет* (20), *Національний науковий центр*

«Харківський фізико-технічний інститут» (17), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (11), Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Національний університет «Львівська політехніка» (по 6), а також інститути НАН України – Інститут ядерних досліджень (9), Інститут фізики (6) та ін.

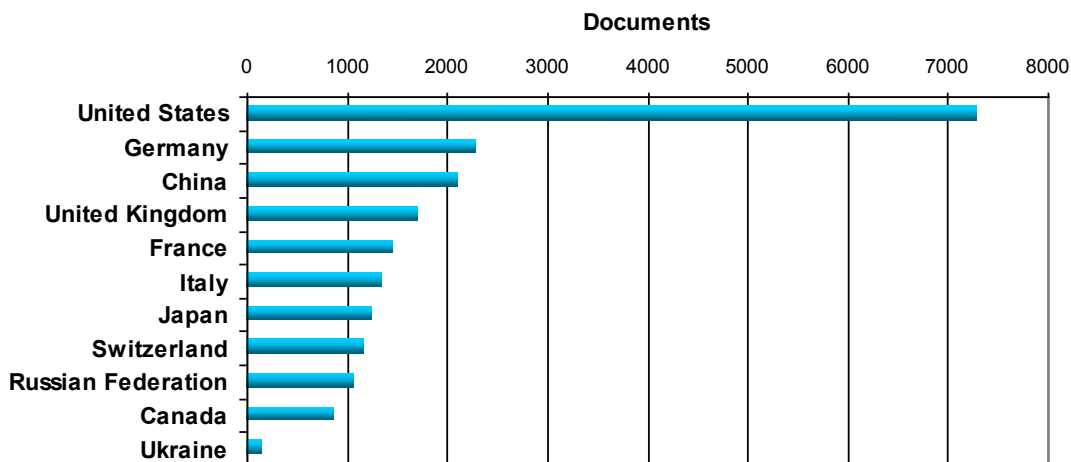


Рис. 1. Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій та України з «Computer physics» (Комп'ютерна фізика).

У найцитованіших публікаціях розглядаються найактуальніші результати досліджень науковців. Аналіз публікацій за тегом «Computer physics» (Комп'ютерна фізика) вказує на високе практичне значення таких досліджень. Зокрема, найбільш цитована публікація у світі (15 078 цитувань) вивчає широкий спектр функціональних можливостей набору інструментів GEANT4 для імітації проходження частинок через речовину [6]. Даний інструментарій є результатом всесвітньої співпраці фізиків та інженерів програмного забезпечення і був використаний у фізиці елементарних частинок, ядерній фізиці, проектуванні прискорювачів, космічній техніці та медичній фізиці. Найцитованіші публікації з комп'ютерної фізики присвячені розгляду теоретичних основ (3D) топологічних ізоляторів і надпровідників, а також перспектив створення пристроїв на їх основі [7] (11 885 цитувань), розробці та впровадженні методу для моделювання структурної релаксації та молекулярної динаміки [8] (9 551 цитувань), удосконаленню універсального та дуже добре оптимізованого пакета GROMACS 3.0 для молекулярного моделювання [9]. Розширення програми для моделювання поверхні ван-дер-ваальської молекули білка [10] дозволяє кількісно оцінити доступність атомів або груп атомів до молекул розчинника або розчиненої речовини певного розміру. У [11] авторами запропоновано методи використання зворотнього зв'язку від фотодетекторів і стійкі до помилок від втрати фотонів та неефективності детектора для розробки квантових комп'ютерів. Тобто, це публікації, які мають чітке практичне спрямування, однак містять також і повний спектр фундаментальних досліджень.

Найбільш цитовані публікації українських вчених мають місце у співавторстві з колегами із Польщі [12], Швеції [13], США і Вірменія [14], Франції, Іспанії тощо. Найцитованіші роботи науковців України присвячено опису механізмів створення химерних станів через появу одиночних станів [12], покращення методу при моделюванні жорсткої поліатомності [15], розробці аналітичного підходу для випадку слабого електромеханічного зв'язку [13], за допомогою аналізу та чисельного моделювання водню та натрію у [14] показано високу ймовірність можливості перенесення атомної заселеності, використовуючи двофотонний комбінаційний перехід із затримкою імпульсів.

Серед найбільш цитованих світових наукових центрів (науковців публікації, яких найбільш цитовані) спостерігаються, в основному, установи країн-лідерів: *Принстонський і Пенсільванський* (США), *Кембриджський* (Великобританія), *Мадридський автономний* (Іспанія), *Гронінгенський* (Нідерланди) *університети*, *Королівський технологічний інститут і Упсальський університет* (Швеція) та ін. Хоча ці центри не входять до переліку провідних науково-дослідних центрів за найбільшою кількістю публікацій, проте науковці з них можуть претендувати на найвищі позиції у рангу світових вчених. В Україні також є ряд центрів з

найавторитетнішими (найцитованішими) науковцями в області комп'ютерної фізики – інститути НАН України: *Інститут математики і Центр з медико-біотехнічних досліджень, Інститут конденсованих систем, Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна* та ін.

Найвагоміші результати досліджень світових науковців опубліковано у авторитетних виданнях (табл. 1), тоді як найбільш цитовані статті опубліковані у топових (з високим SJR) журналах: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A* (SJR 0,75), *Reviews of Modern Physics* (SJR 24,88), *Journal of Physics: Condensed Matter* (SJR 0,91), *Journal of Molecular Modeling* (SJR 0,36), *Nature* (SJR 15,99). Причому, значна кількість публікацій видана не лише у топових журналах, але й у великій кількості матеріалів конференцій, таких як *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering* (SJR 0,19), *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* та ін., що вказує на важливість участі науковців у роботі таких заходів та представлення на них своїх результатів.

Таблиця 1.

Порівняльна характеристика світових та українських джерел публікацій (країна (SJR)) результатів досліджень в області комп'ютерної фізики (Computer physics)

Світ	Україна
<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21)	<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)
<i>Physical Review Letters</i> , US (Q1 3,69)	<i>CEUR Workshop Proceedings</i> , US (0,18)
<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,29)
<i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32)	<i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32)
<i>IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record</i> , US	<i>Journal of Physics: Condensed Matter</i> , UK (Q1 0,91)

Невисоке значенням h-індексу для України пов'язане не лише з кількістю публікацій. Є країни, які мають майже таку ж їх кількість, але випереджають нас за якістю (h-індексом). Для пояснення цього проаналізовано видання, де представлені дослідження наших вчених. Українські науковці найчастіше публікують свої результати (табл. 1) у матеріалах конференцій, хоча і значну їх кількість опубліковано у виданнях Q1: *Computer Physics Communications* (SJR 1,32), *Journal of Physics: Condensed Matter* (SJR 0,91). Привертає увагу те, що країни-лідери за кількістю і якістю статей публікують результати своїх досліджень практично у тих самих наукових виданнях. Публікуючи статті у таких самих журналах, вчені цих країн звертають увагу на інші праці, опубліковані у цих виданнях. Таким чином реалізується більша кількість цитувань їх праць. Тому найбільш цитовані українські публікації саме у виданнях Q1 і Q2. Причому, імпакт-фактори цих журналів не завжди є надто високими: *Journal of Instrumentation* (Q1 SJR 0,74), *Physical Review E* (Q1 SJR 0,9), *Physica B* (Q2 SJR 0,49), *Optics Communications* (Q2 SJR 0,63), *Physical Review A* (SJR Q1 1,39), *Physical Review Letters* (Q1 SJR 3,69). Часто такими виданнями є матеріали профільних конференцій, що є ознакою сформованого певного міжнародного наукового середовища, представники якого беруть спільно участь у міжнародних конференціях та симпозіумах, де діляться своїми результатами.

Дещо складніше робити висновки за галуззю знань, з якою позиціонується певна публікація. Для всіх публікацій по світу пов'язаних з «Комп'ютерна фізика» (Computer physics), переважаючими є галузі «Фізика та астрономія», «Інженерія», «Комп'ютерні науки», «Математика» і «Матеріалознавство» (рис. 2а). Для України переважаючі галузі такі ж як у світі (рис. 2б), лише з чіткіше вираженим спрямуванням публікацій за цими областями, і на інші галузі припадає лише 6,1 %, тоді як у світі – 26,5 %. Це показує про значно ширше використання комп'ютерної фізики у різних прикладних сферах. Дещо інші світові відсоткові значення кількості публікацій проти українських пов'язаних з галузями знань «Фізика та астрономія» (29,3 і 28,1 %), «Інженерія» (15,9 і 18,6 %), «Комп'ютерні науки» (13,9 і 18,3 %). Тоді як для галузей «Математика» (7,6 проти 13,1 %) і «Матеріалознавство» (6,8 проти 15,8 %) спостерігається значний «перекос». Перевага за кількістю публікацій галузі «Фізика та астрономія» вказує на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних областей фізики або астрономії і перейшли у практичне русло, яке пов'язане з інженерією,

інформатику, матеріалознавством тощо. Це пояснюється значним фундаментальним доробком і розвитком прикладних аспектів. Часто такі напрями визначаються наявною матеріальною базою або публікаціями у співпраці вчених з різних країн, де кожна наукова група чітко виконує свою частину роботи.

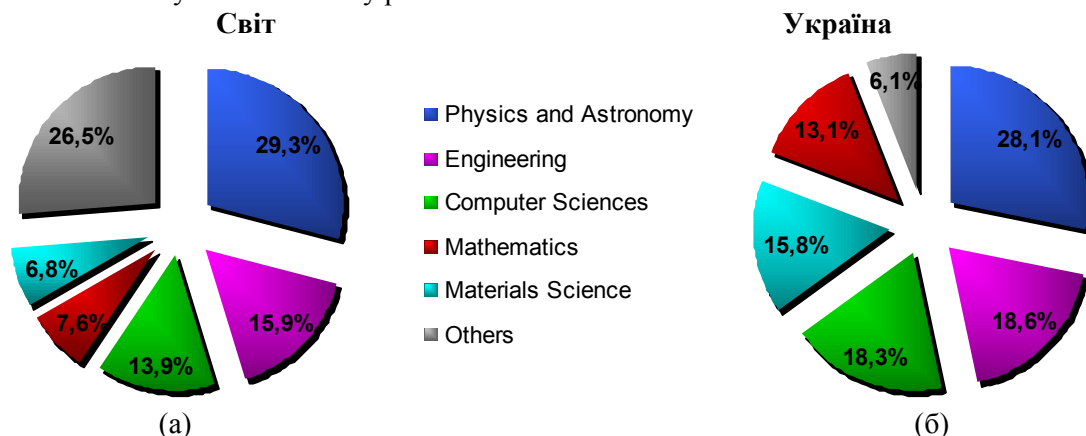


Рис. 2. Переважаючі галузі знань публікацій з «Комп'ютерна фізика» (Computer physics).

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Для України це країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірно бачити значну кількість публікацій з: Польща – 33 спільних публікацій, Казахстан – 24, Німеччина та РФ по 11. Є серед країн-партнерів і США, Франція, Італія, Швейцарія, Великобританія. Хоча США має високий економічний потенціал та суттєво вищі показники за кількістю публікацій (рис. 1), вона не є переважаючим серед країн-партнерів для України. Як правило, для цієї країни пріоритетною є підтримка власних досліджень та, відповідно, значна кількість публікацій без іноземних партнерів.

Найбільшими світовими організаціями, що фінансують дослідження в даній галузі – здебільшого організації з США (табл. 2): *National Science Foundation, U.S. Department of Energy, National Natural Science Foundation of China, National Institutes of Health, European Commission* тощо. Для України ситуація з державною підтримкою складніша. Дуже мало публікацій, де вказано виконання за сприянням *НАНУ* і *МОНУ*. Зате є значна кількість публікації українських вчених, дослідження яких підтримані (табл. 2): *European Commission* (Бельгія), *Government of Canada* і *Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada* (Канада) тощо. Як правило, українські вчені виконують свої дослідження або в закордонних інституціях, в рамках дослідницького гранту, або українська організація співпрацює із закордонною. Тому вчені є співавторами багатьох спільних статей. Іншою проблемою у науковців з України є не деталізація на метаданих (відсутність спонсора), або виконання досліджень без фінансової підтримки. Як наслідок, із проіндексованих публікацій з українськими науковцями менше третини мають відомості про фінансування дослідження.

Таблиця 2.

Порівняльна характеристика організації, що фінансують дослідження світових та українських вчених в області комп'ютерної фізик (Computer physics)

Світ	Україна
<i>National Science Foundation</i>	<i>European Commission</i>
<i>U.S. Department of Energy</i>	<i>Government of Canada</i>
<i>National Natural Science Foundation of China</i>	<i>Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada</i>
<i>National Institutes of Health</i>	<i>Russian Foundation for Basic Research</i>
<i>European Commission</i>	<i>AUTO21 Network of Centres of Excellence</i>
<i>U.S. Department of Health and Human Services</i>	<i>Agence Nationale de la Recherche</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Canada Research Chairs</i>
<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>	<i>Chemical Sciences, Geosciences, and Biosciences Division</i>
<i>Seventh Framework Programme</i>	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
<i>U.S. Department of Defense</i>	<i>Delta</i>

Висновки. Аналіз стану досліджень з комп'ютерної фізики в світі та Україні однозначно свідчить про високу актуальність і перспективність даного напрямку та підтверджується великою кількістю зацікавлених науковців і їх публікацій – 20 879 документів у наукометричній базі даних Scopus за період 1993-2021 рр. з сумарним h-індексом ($h = 262$). Така активність вчених провідних країн світу до даної проблематики обумовлена високим її практичним значенням і використанням у різних сферах. Недостатнє представлення публікацій, які подаються українськими науковцями пояснено: потребами у наявності сучасної та дорогої матеріальної бази, ліцензованого програмного забезпечення, частою відсутністю зовнішнього фінансування таких досліджень, відсутністю чіткого інформування, за кошти яких організацій виконується дослідження. Однак, міжнародна співпраця українських вчених заслуговує уваги та вказує на перспективи розвитку досліджень у напрямі комп'ютерної фізики.

Інформаційні джерела

1. Morales-Acevedo A., Hernández-Como N., Casados-Cruz G. Modeling solar cells: a method for improving their efficiency. *Mater. Sci. Eng. B.* 2012. Vol. 177, № 16. P. 1430–1435.
2. Saliy Ya.P. Yavorskyi R.S. The redistribution modeling of implanted impurity stimulated by vacancies. *Mater. Today: Proc.* 2021. Vol. 35, № 4. P. 576–578.
3. Nykyruy L., Fedosov S., Saliy Ya., Prokopiv V., Zamurujeva O., Yavorsky R. Current research in the field of medical physics: Challenges for Ukraine. *Scientific Notes.* 2020. № 69. P. 82–91.
4. Wisz G., Nykyruy L., Yakubiv V., Hryhoruk I., Yavorsky 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.
5. 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.
6. Agostinelli S., Allison J., Amako K., et al. GEANT4 - A simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A.* 2003. Vol. 506, № 3. P. 250–303.
7. Hasan M.Z., Kane C.L. Colloquium: Topological insulators. *Rev. Mod. Phys.* 2010. Vol. 82, № 4. P. 3045–3067.
8. Soler J.M., Artacho E., Gale J.D., et al. The SIESTA method for *ab initio* order-N materials simulation. *J. Phys.: Condens. Matter.* 2002. Vol. 14, № 11. P. 2745–2779.
9. Lindahl E., Hess B., van der Spoel D. GROMACS 3.0: A package for molecular simulation and trajectory analysis. *J. Mol. Model.* 2001. Vol. 7, № 8. P. 306–317.
10. Lee B., Richards F.M. The interpretation of protein structures: Estimation of static accessibility. *J. Mol. Biol.* 1971. Vol. 55, № 3. P. 379–380. (IN3,381-398, IN5,399-400).
11. Knill E., Laflamme R., Milburn G.J. A scheme for efficient quantum computation with linear optics. *Nature.* 2001. Vol. 409, № 6816. P. 46–52.
12. Jaros P., Maistrenko Y., Kapitaniak T. Chimera states on the route from coherence to rotating waves. *Phys. Rev. E.* 2015. Vol. 91, № 2. 022907.
13. Isacsson A., Gorelik L.Y., Voinova M.V., et al. Shuttle instability in self-assembled Coulomb blockade nanostructures. *Physica B.* 1998. Vol. 255, № 1–4. P. 150–163.
14. Yatsenko L.P., Unanyan R.G., Bergmann K., Halfmann T., Shore B.W. Population transfer through the continuum using laser-controlled Stark shifts. *Opt. Commun.* 1997. Vol. 135, № 4–6. P. 406–412.
15. Omelyan I.P. On the numerical integration of motion for rigid polyatomics: the modified quaternion approach. *Computers in Physics.* 1998. Vol. 12, № 1. P. 97–103.

Никируй Л.І.¹, Федосов С.А.², Яремий І.П.¹, Замуруєва О.В.², Федосов В.С.³, Сахнюк П.В.⁴

¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

²Волынський національний університет імені Леси Українки

³Сервіс-група «SEOtodo»

⁴ТОВ «Mirko Solutions»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ФИЗИКИ

© Никируй Л.І.¹, Федосов С.А.², Яремий І.П.¹, Замуруєва О.В.², Федосов В.С.³, Сахнюк П.В.⁴

Статья анализирует публикации авторитетных мировых и украинских ученых в области компьютерной физики для понимания закономерности поддержки и развития этого направления в мире и в Украине и определить перспективы для совместных исследований. Рассмотрены особенности международного сотрудничества, очерчен круг ведущих изданий в научной области, проанализированы факторы влияния ученых разных стран на развитие этой области. Исследование основывается на результатах данных, опубликованных в международной наукометрической базе Scopus. Выполнен анализ и сформулированы рекомендации по улучшению распространения результатов отечественных ученых в мировой научной общности по этому направлению.

Ключевые слова: компьютерная физика, публикации, научные исследования, h-индекс.

Никируй Л.І.¹, Fedosov S.A.², Yaremiy I.P.¹, Zamurujeva O.V.², Fedosov V.S.³, Sakhnyuk P.V.⁴

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

²Lesya Ukrainka Volyn National University

³«SEOtodo» service groups

⁴LLC «Mirko Solutions»

CURRENT PROBLEMS OF COMPUTER PHYSICS

The article analyzes the publications of authoritative world and Ukrainian scientists in the field of computer physics to understand the patterns of support and development of this area in the world and in Ukraine and to identify prospects for joint research. The peculiarities of international cooperation are considered, the range of leading publications in the scientific field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of this field are analyzed. The study is based on the results of data published in the international scientometric database Scopus. The analysis is made and recommendations for improvement of distribution of results of domestic scientists in the world scientific community in this area are formulated.

Keywords: computer physics, publications, scientific research, h-index.

УДК 621.923 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-18

Новіков¹ Ф. В., д. т. н., Новіков² Г. В., к. т. н.¹Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, м. Харків, Україна²Науковий центр НТК «Ельбор», м. Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОБІТНИКІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

У роботі обґрунтовано основні напрями підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування шляхом застосування екологічно чистої технології електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках. Показано, що ця технологія на відміну від традиційно технології абразивної правки виключає утворення абразивного пилу на робочому місці, а на відміну від електрохімічної правки виключає застосування сильних електролітів. Замість них застосовується звичайна технічна вода. Однак, в процесі електроерозійної правки в зоні обробки виникає іскріння, яке небажано для робітника при значному часі правки. Тому в роботі запропоновано нове технічне рішення, яке полягає у використанні ручного ізольованого електроду, що забезпечує короткочасну електроерозійну правку. Це фактично виключає негативний вплив іскріння на органи зору робітника. На цій основі розроблено практичні рекомендації щодо створення екологічно чистих технологій шліфування алмазно-абразивними інструментами на металевих зв'язках виробів, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів (твердих сплавів, природних алмазів, керамік, феритів та ін). Це, по-перше, дозволяє виготовляти конкурентоздатну промислову продукцію, а, по-друге, покращує екологічну захищеність робочого місця і виробництва в цілому, підвищує безпеку і працездатність робітника.

Ключові слова: екологія виробництва, здоров'я працівника, алмазний круг, сильні електроліти, електроерозійна правка круга

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливішими науковими і практичними задачами. Високі вимоги до якості та економічності виготовлення машинобудівної продукції, здатної з успіхом конкурувати зі світовими аналогами на міжнародних ринках, передбачають застосування сучасних технологій виробництва. Особливо це стосується технологій металообробки, оскільки для ефективного складання машин та їх успішного функціонування необхідно виготовляти високоточні й високоякісні деталі машин. Прагнення керівників підприємств до зниження витрат на виробництво і підвищення прибутку підприємств призводить до застосування високопродуктивних технологій металообробки, заснованих, як правило, на поєднанні різних видів енергій (механічної, хімічної, електричної та ін.). З однієї сторони, це сприяє інтенсифікації процесу обробки, а з іншої сторони, призводить до появи небажаних чинників, які негативно впливають на екологію робочого місця і виробництва в цілому, зниження працездатності та безпеки робітника. Тому підвищення екологічної безпеки виробництва шляхом зниження і навіть виключення небезпечних (шкідливих) впливів на життєдіяльність людини і стан навколишнього середовища є одним із основних чинників розвитку економіки країни і поліпшення добробуту населення. Важливу роль в цьому відіграє застосування у виробництві екологічно чистих технологій, наприклад, таких, що виключають використання хімічно шкідливих для здоров'я робітника технологічних середовищ.

Прогресивним методом обробки виробів, виготовлених із важкооброблюваних металевих та неметалевих матеріалів підвищеної твердості, є шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках. Однак, використання механічних методів правки алмазного круга на металевій зв'язці для відновлення їх різальної здатності із застосуванням абразивних кругів або абразивних брусків викликає утворення значного абразивного пилу на робочому місці. Це різко погіршує екологію виробництва й шкідливо впливає на здоров'я робітника й застосовуване обладнання. Більш ефективним із технічної точки зору є метод електрохімічної правки. Однак він погіршує екологію виробництва внаслідок наявності в зоні обробки шкідливих для здоров'я робітника й обладнання сильних електролітів, які забруднюють робоче

місце хімічно активними речовинами. В результаті цього обладнання піддається інтенсивному корозійному зносу і втрачає свої технічні характеристики.

Із метою виключення шкідливих електролітів із технологічного процесу правки алмазного круга на металевій зв'язці запропоновано використовувати метод електроерозійної правки, який можна здійснювати із застосуванням звичайної технічної води, що не чинить шкідливої дії на здоров'я робітника й використовуване обладнання. Цей метод правки є більш екологічно чистим порівняно з методом електрохімічної правки й тому отримав достатньо широке практичне застосування. Тому важливо розробити практичні рекомендації з ефективного застосування метода електроерозійної правки вказаних алмазних кругів та забезпечення екологічно чистих умов шліфування, підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітника. Це допоможе керівникам промислових підприємств та підрозділів більш ефективно планувати заходи в даному напрямі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Питанням підвищення ефективності застосування прогресивного методу електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках присвячені роботи Беззубенко М. К., Рибіцького В. А [1, 2]. В цих роботах встановлено, що в умовах електроерозійної правки електричні розряди, які виникають в зоні контакту алмазного круга на металевій зв'язці, викликають локальні ударно-термічні мікроруйнування металевої зв'язки внаслідок виникнення надзвичайно високих температур. В результаті відбувається видалення з робочої поверхні круга затуплених алмазних зерен і забезпечується його висока ріжуча здатність, що призводить до підвищення продуктивності та якості обробки при шліфуванні. Чим вище сила електричного струму, що підводиться в зону шліфування, тим більш інтенсивне протікає процес електроерозії й більш значним стає об'єм металевої зв'язки, яка видаляється від дії електричних розрядів. В цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металевої зв'язки шляхом застосування сильних електролітів [3-5], оскільки її можна видалити за рахунок присутності в процесі правки електричних розрядів із застосуванням звичайної технічної води. Це є важливою умовою підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування. Таким чином, у вказаних роботах обґрунтовано основні напрями застосування електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках із технічної точки зору. Однак недостатньо розглянуто питання ефективності забезпечення екології виробництва в цих умовах на різних технологічних операціях алмазного шліфування із урахуванням вимог до якості та продуктивності обробки.

Мета роботи – підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування шляхом застосування прогресивного методу електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках.

Викладення основного матеріалу. Алмазні круги на металевих зв'язках отримали найбільш широке застосування при шліфуванні твердих сплавів. Їх електроерозійна правка здійснюється періодично на протязі достатньо значного проміжку часу. Однак це, по-перше, знижує продуктивність обробки і, по-друге, викликає негативний вплив на органи зору робітника, оскільки в зоні правки виникає інтенсивне іскріння. Крім того, професор Беззубенко Н. К. [1] розробив метод алмазно-іскрового шліфування, в якому в якості правлячого електрода використовують оброблювану деталь, а процес електроерозійної правки алмазного круга здійснюється на протязі усього часу обробки. У цьому випадку досягається дуже важливий технічний ефект обробки – забезпечується передруйнування поверхневого шару оброблюваного матеріалу, що призводить до зниження силової та теплової напруженостей процесу шліфування, підвищення продуктивності та якості обробки. Найбільший ефект досягається при шліфуванні сталей та інших пластичних високоміцних матеріалів, коли утворюються довгі стружки, які приводять до інтенсивного засалювання алмазних кругів на металевих зв'язках і швидкої втрати їх ріжучої здатності. Разом з тим, процес алмазно-іскрового шліфування супроводжується інтенсивним іскрінням в зоні шліфування на протязі всього часу обробки, а це може бути ціла зміна – 8 годин праці. Безсумнівно, це викликає великі незручності для робітника та може негативно вплинути на його здоров'я. Отже, для того щоб знизити (або усунути) негативний вплив на органи зору робітника виникаючого в зоні шліфування іскріння, необхідно суттєво зменшити час електроерозійної правки алмазного круга.

Слід зазначити, що так гостро проблема усунення процесу іскріння в зоні електроерозійної правки традиційно не виникала. Однак побажання з боку робітників усунути процес іскріння або знизити його інтенсивність в зоні правки все ж мали місце. Із цією метою нами запропоновано нове технічне рішення з поліпшення умов здійснення електроерозійної правки алмазного круга на металевій зв'язці [6, 7]. Воно полягає у використанні ручного ізольованого електроду (рис. 1). У процесі правки ізольований Г-подібний електрод притискається до периферії алмазного круга в зоні інтенсивного попадання на нього охолоджуючої рідини. Це забезпечує швидке очищення поверхні алмазного круга від продуктів обробки і розкриття його алмазовмісного шару. За даними експериментальних досліджень, час електроерозійної правки складає до 10 секунд при силі електричного струму 15 – 20 А. При цьому здійснюється якісне розкриття його алмазовмісного шару, ріжучі зерна виступають над рівнем металеві зв'язки на значну висоту, достатню для здійснення високопродуктивної обробки. Стійкість алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 після правки з використанням ручного ізольованого електроду багаторазово збільшується порівняно зі стійкістю алмазного круга після звичайної механічної правки абразивним бруском. Це дозволяє якісно здійснювати процес шліфування та фактично виключає негативний вплив іскріння (що виникає в зоні електроерозійної правки алмазного круга) на органи зору робітника, оскільки має місце незначний час електроерозійної правки.

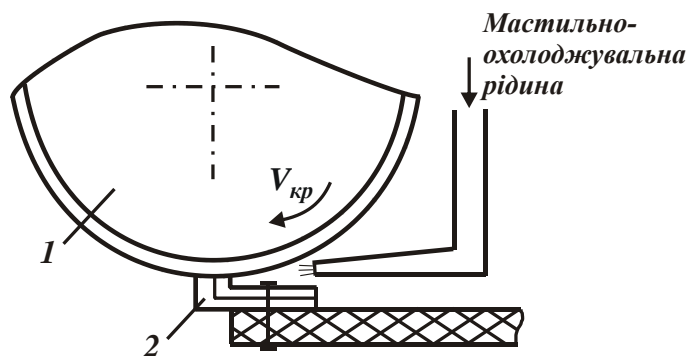


Рисунок 1 – Схема електроерозійної правки алмазного круга (1) із використанням електроду (2), який може утримувати в руках робітник-шліфувальник

Запропоновану екологічно чисту технологію електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках ефективно використано на операції шліфування блок-матриць для синтезу алмазного порошку. Блок-матриця складається зі сталеві обійми із запресованою до неї твердосплавною камерою, в якій відбувається процес синтезу алмазного порошку. Для забезпечення площинності верхньої частини блок-матриці здійснюється її шліфування алмазним кругом на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Г71. Спільна обробка сталі й твердого сплаву алмазним кругом 1А1 250x20x5 на органічній зв'язці, як показує практика, призводить до інтенсивного зносу круга і зниження продуктивності обробки. Застосування алмазного круга на керамічній зв'язці дозволяє певною мірою підвищити продуктивність обробки і знизити знос круга, однак вирішити проблему високопродуктивного шліфування не вдається. Проблему вирішено за рахунок застосування алмазного круга 1А1 300x20x5 на металевій зв'язці М1-01 та його періодичної електроерозійної правки. Для здійснення електроерозійної правки проведено модернізацію плоскошліфувального верстата, яка включала електроізоляцію алмазного круга і здійснення токопідводу до нього через графітову щітку. Правлячим електродом спочатку використовували оброблювану деталь. Джерелом технологічного струму застосовували спеціально виготовлений генератор імпульсів.

Однак електроерозійна правка алмазного круга безпосередньо в процесі шліфування не дозволила добитися очікуваних результатів. Щільний контакт алмазного круга з оброблюваною поверхнею деталі, із однієї сторони, приводив до суттєвого збільшення розрядного струму, а з іншої сторони, викликав інтенсивне засалювання алмазного круга. Алмазний круг практично не піддавався правці, його робоча поверхня була повністю покрита світло-сірим шаром сталеві стружки. Тому від такої ідеї електроерозійної правки алмазного круга довелося відмовитися. Замість неї запропоновано ідею здійснення електроерозійної правки із використанням ручного ізольованого електроду (рис. 3), практична реалізація якої показала позитивні результати. Так,

новий алмазний круг на металевій зв'язці М1-01, який було встановлено на шліфувальний верстат і мав значне биття робочої поверхні, за допомогою ручного електроду був підготовлений до роботи за невеликий проміжок часу. Це значно знизило негативний вплив іскріння в зоні електроерозійної правки на органи зору робітника та підвищило екологічну безпеку його життєдіяльності у виробничих умовах на технологічній операції алмазного шліфування. Це також відкрило нові можливості ефективного використання екологічно чистої електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках.

Прикладом ефективного застосування електроерозійної правки є операції шліфування й огранювання природних алмазів в діаманти [8]. Так, на операції круглого зовнішнього шліфування традиційно використовують алмазний круг на металевій зв'язці форми 1А1 та діаметром 150 мм. Правку цього круга здійснювали електрохімічним методом. Для цього круг, що обертається, в процесі шліфування поміщали в ванночку з електролітом і це дозволяло безперервно розчиняти поверхневий шар металевої зв'язки і видаляти верхній ряд затуплених алмазних зерен. Однак це вимагало зниження швидкості обертання круга в результаті розбризкування електроліту і забруднення ім робочого місця робітника-різьбяра. Електроліт шкідливо впливав на руки робітника-різьбяра і його органи дихання. Застосування електроерозійної правки алмазного круга не вимагає його поміщення в ванночку і використання шкідливого електроліту. Тому впровадження електроерозійної правки дозволило суттєво поліпшити екологію технологічного процесу шліфування алмазів, виключити шкідливий вплив електроліту на здоров'я робітника-різьбяра і навколишнє середовище, а також підвищити продуктивність та точність обробки.

Під час огранювання природних алмазів в діаманти використовували спеціальні алмазні круги, у яких алмазовмісний шар наносили на диск круга електрогальванічним методом. Диск круга виготовляли зі спеціального чавуну, а алмазний порошок закріплювали складом ряду металів. Після електрогальванічного нанесення алмазного порошку на диск, укочували алмазозмісний шар для його зміцнення. Товщину алмазовмісного шару вимірювали сотими частками мм. Працездатність такого круга складала кілька робочих змін, після чого круг переробляли – видаляли залишки алмазовмісного шару з диска і знову електрогальванічним методом наносили на нього алмазний порошок. Очищення поверхні диска здійснювали в середовищі вільного абразиву (карбиду кремнію зеленого з дрібною фракцією зерен). Використовували спеціальний верстат з ванною, де змішували порошок з водою, а також бронзовий диск, що обертався разом із закріпленим на його осі огранювальним диском в момент їх притиснення. Притерта поверхня диска була завжди дуже чистою і, головне, биття знаходилося в необхідних межах – 0,01 мм. Однак мала місце значна проблема екології частого електрогальванічного нанесення алмазного порошку на диск круга і видалення з нього залишків алмазовмісного шару. У верстатах для обробки вільним абразивом, що мають великі ванни, накопичувалося багато бруду, його доводилося постійно чистити і відвозити значну масу відходів.

Використання алмазних кругів на металевих зв'язках (наприклад, на зв'язці М3-04 з характеристиками 6А2 300х60х5х50 АС6 10/7 4, виготовлених методом порошкової металургії) з великою товщиною алмазовмісного шару могло б вирішити цю екологічну проблему. Однак 100-відсоткової концентрації алмазних кругів виявилось недостатньо, щоб замінити круги, які виготовлені електрогальванічним методом. Різниця в концентрації цих кругів була величезна. Тому на операції огранювання природних алмазів в діаманти, як і раніше, використовують спеціальні круги, у яких алмазовмісний шар наноситься на диск круга електрогальванічним методом, що забруднює робоче місце хімічно-активними речовинами і знижує екологічну безпеку виробництва. Спроби збільшити поверхневу концентрацію традиційно виготовленого (спеченого) методом порошкової металургії алмазного круга шляхом введення в зону обробки додаткової маси вільного алмазного порошку до успіху не привели. Якість огранювання природних алмазів залишалася нижче, ніж при обробці кругами, виготовленими електрогальванічним методом. Отже, питання підвищення поверхневої концентрації традиційно виготовленого (спеченого) методом порошкової металургії алмазного круга залишається актуальним. Із його вирішенням з'явиться можливість вилучити екологічно шкідливу технологію електрогальванічного нанесення алмазного порошку на диск круга.

Екологічно чисту технологію електроерозійної правки також ефективно використано для вирівнювання алмазовмісного шару великого збірного алмазного круга (діаметром 500 мм) [7]. Даний круг застосовували для обробки виробів з важкооброблюваних керамік і феритів. Для

вирівнювання алмазовмісного шару круга традиційно використовували абразивні круги (різні марки білого і оранжевого кольорів) розміром 900x90 мм. Діаметр посадки цього круга був теж значним. Практикою встановлено, що для початкового вирівнювання збірного алмазного круга недостатньо одного абразивного круга. При його правленні витрата абразивних кругів менше, проте на робочому місці утворюється туман від абразивного пилу. Після правки алмазного круга совковою лопатою чистили відходи абразиву. Вартість абразиву була дуже висока, що викликало необхідність застосування електроерозійної правки замість абразивної. Результати застосування електроерозійної правки виявилися достатньо позитивними як в технічному і екологічному, так і в економічному відношеннях. Вдалося виключити умови утворення абразивного пилу та його шкідливого впливу на робітника, що мало місце в умовах механічної правки із застосуванням звичайних абразивних кругів. Це дозволило ефективно використовувати на заводі електроерозійну правку великих збірних алмазних кругів (діаметром 500 мм) замість традиційної абразивної правки при обробці виробів з важкооброблюваних керамік і феритів.

Висновки

У роботі обґрунтовано основні напрями підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування шляхом застосування екологічно чистої технології електроерозійної правки алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках. Показано, що ця технологія на відміну від традиційно технології абразивної правки виключає утворення абразивного пилу на робочому місці, а на відміну від електрохімічної правки виключає застосування сильних електролітів. Замість них застосовується звичайна технічна вода. Це значно покращує екологію виробництва та виключає шкідливий вплив абразивного пилу та хімічно активних речовин на здоров'я робітника. Однак, в процесі електроерозійної правки в зоні обробки виникає іскріння, яке небажано для робітника при значному часі правки. Тому в роботі запропоновано нове технічне рішення, яке полягає у використанні ручного ізольованого електроду, що забезпечує швидке очищення поверхні алмазного круга від продуктів обробки і розкриття його алмазовмісного шару. Це фактично виключає негативний вплив іскріння на органи зору робітника, оскільки має місце короткочасна електроерозійна правка. На цій основі розроблено практичні рекомендації щодо створення екологічно чистих технологій шліфування алмазно-абразивними інструментами на металевих зв'язках виробів, виготовлених із різноманітних металевих та неметалевих важкооброблюваних матеріалів (твердих сплавів, природних алмазів, керамік, феритів та ін). Це, по-перше, дозволяє виготовляти конкурентоздатну промислову продукцію, а по-друге, покращує екологічну захищеність робочого місця і виробництва в цілому, підвищує безпеку і працездатність робітника.

Перспективи подальшої роботи в даному напрямку. В подальших дослідженнях необхідно експериментально визначити вплив електроерозійної правки алмазних кругів на металевих зв'язках на екологічні показники металообробного виробництва та обґрунтувати умови їх покращення з точки зору виключення негативної дії іскріння на здоров'я робітника.

Інформаційні джерела

1. Беззубенко Н.К. Повышение производительности алмазного шлифования / Н.К. Беззубенко // *Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*. – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 296–302.
2. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями: метод. рекомендации / В. А. Рыбицкий. – Киев: Об-во "Знание" УССР, 1987. – 23 с.
3. Интегрированные процессы обработки материалов резанием: учебник / А.И. Грабченко, В.А. Залого, Ю.Н. Внуков и др.; под общ. ред. А.И. Грабченко и В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 451 с.
4. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: навчальний посібник / за редакцією А.І. Грабченка. – Харків, ХДПУ, 1999. – 436 с.
5. Лавриненко В.И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография / В.И. Лавриненко, В. Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
6. Новиков Г.В. Обоснование и выбор оптимального электрического режима

- электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках / Г.В. Новиков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2005. – Вип. 33. – С. 180–185.
7. Новіков Ф. В. Сучасні екологічно безпечні технології виробництва : монографія / Ф. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх, Г. В. Новіков. – Дніпро : ЛПА, 2017. – 372 с.
 8. Новиков Г.В. Прогрессивные технологии алмазно-абразивной обработки природных алмазов в бриллианты / Г.В. Новиков // Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХП". – 2011. – № 40. – С. 72–90.

Новиков¹ Ф. В., д. т. н., Новиков² Г. В., к. т. н.

¹Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнецца, г. Харьков, Украина

²Научный центр НТК «Эльбор», г. Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАБОЧИХ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе обоснованы основные направления повышения экологической безопасности жизнедеятельности рабочих в производственных условиях на технологических операциях алмазного шлифования путем применения экологически чистой технологии электроэрозионной правки алмазных кругов на высокопрочных металлических связках. Показано, что эта технология в отличие от традиционной технологии абразивной правки исключает образование абразивной пыли на рабочем месте, а в отличие от электрохимической правки исключает применение сильных электролитов. Вместо них применяется обычная техническая вода. Однако в процессе электроэрозионной правки в зоне обработки возникает искрение, которое нежелательно для рабочего при продолжительном времени правки. Поэтому в работе предложено новое техническое решение, которое заключается в использовании ручного изолированного электрода, обеспечивающего кратковременную электроэрозионную правку. Это фактически исключает негативное влияние искрения на органы зрения рабочего. На этой основе разработаны практические рекомендации по созданию экологически чистых технологий шлифования алмазно-абразивными инструментами на металлических связках изделий, изготовленных из труднообрабатываемых материалов (твердых сплавов, природных алмазов, керамики, ферритов и др.) Это, во-первых, позволяет изготавливать конкурентоспособную промышленную продукцию, а, во-вторых, улучшает экологическую защищенность рабочего места и производства в целом, повышает безопасность и работоспособность рабочего.

Ключевые слова: экология производства, здоровье рабочего, алмазный круг, сильные электролиты, электроэрозионная правка круга

Novikov¹ F. V., Doctor of Technical Sciences, Novikov² G. V., Ph.D.

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

²Scientific Center STC "Elbor", Kharkiv, Ukraine

INCREASING ENVIRONMENTAL SAFETY OF WORKERS 'LIFE IN PRODUCTION CONDITIONS ON TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF DIAMOND GRINDING

The paper substantiates the main directions of improving the environmental safety of workers' life in production conditions at technological operations of diamond grinding by using environmentally friendly technology of electro-erosion restoration of diamond wheels on high-strength metal bonds. It is shown that this technology, in contrast to the traditional technology of abrasive dressing, excludes the formation of abrasive dust at the workplace, and, in contrast to electrochemical dressing, excludes the use of strong electrolytes. Instead, ordinary industrial water is used. However, in the process of electro-erosion reduction, sparking occurs in the processing zone, which is undesirable for a worker with a long dressing time. Therefore, a new technical solution is proposed in

the work, which consists in using a manual insulated electrode, which provides short-term electro-erosion restoration. This virtually eliminates the negative impact of sparking on the worker's organs of vision. On this basis, practical recommendations have been developed for the creation of environmentally friendly technologies for grinding with diamond-abrasive tools on metal bonds of products made of difficult-to-machine materials (hard alloys, natural diamonds, ceramics, ferrites, etc.) This, firstly, allows the manufacture of competitive industrial products and, secondly, it improves the environmental protection of the workplace and production in general, increases the safety and efficiency of the worker.

Key words: production ecology, worker health, diamond wheel, strong electrolytes, electro-erosion circle restoration

УДК 621.91 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-19

Придальний Б.І.

Луцький національний технічний університет

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ НА РОБОТУ МЕХАНІЗМІВ АВТОМАТИЧНОГО ЗАТИСКУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ТА ІНСТРУМЕНТІВ

Представлено методику проведення експериментального визначення впливу частоти обертання шпинделя на силові характеристики пристроїв затиску з механічним приводом, що встановлюються в шпиндельних вузлах автоматизованих металообробних верстатів. Розглянуто один з найбільш поширених варіантів виконання механічного приводу пристрою затиску, що містить клинову та важільну передачі і забезпечує геометричне замикання системи.

Ключові слова: відцентрові сили, механізм затиску, передача сил, вимірювання сил затиску

Вступ та постановка проблеми. Одним із основних шляхів підвищення продуктивності токарних автоматів і токарно-револьверних верстатів, які обробляють прутки, є збільшення частоти обертання шпиндельного вузла. Раніше виконані дослідження дозволили встановити ряд чинників, які стримують підвищення швидкості обертання шпинделя під час обробки. До їх числа відносять втрату зусилля затиску заготовки і стійкості системи шпиндель-патрон-деталь, що призводить до зниження якості обробленої поверхні, розкиду розмірів і форми оброблених деталей. Обидва чинники мають відчутний та недостатньо досліджений вплив на процес обробки на різних частотах обертання, тому будь-який з них може стати лімітуючим (обмежуючим) при підвищенні частоти.

Отримана адекватної моделі передачі сил в приводах механізмів затиску при обертанні шпинделя на високих частотах дозволить провести теоретичні дослідження: розкрити найбільш істотні співвідношення між чинниками (частота обертання, конструктивні особливості, коефіцієнт тертя і т.д.) і відгуками (силові та енергетичні характеристики); передбачити значення відгуку для заданих комбінацій чинників, вирішуючи задачі як інтерполяції, так і екстраполяції (останнє – в певних межах); висувати нові гіпотези про об'єкт дослідження (привод механізму затиску); уточнювати теоретичні положення про процеси, які в ньому протікають і т.д.

Мета роботи. Розробка методики експериментального визначення характеристик роботи механізмів затиску для можливості підтвердження правильності міркувань, принципів та розрахунків, на яких ґрунтуються теоретичні дослідження впливу частоти обертання шпинделя (відцентрових сил інерції) на силові характеристики приводів механізмів затиску з геометричним замиканням. Таким чином можна підтвердити правомірність використання отриманої моделі для опису характеристик об'єкту дослідження.

Результати роботи. Для розробки методики доцільно розглянути роботу передавально-підсилювального механізму з охопленою муфтою затиску. Об'єктом дослідження є механічний привод затиску, що часто застосовується у механізмах затиску токарних автоматизованих верстатів з використанням в його складі цангового та важільно-кулачкового затискних патронів (рис. 1) а також навантажувального пристрою (рис. 2).

В дослідженнях розглядається важіль, плечі якого розміщені під прямим кутом (рис. 1, 2), що відповідає найбільш поширеній схемі. На розрахункових схемах (рис. 1, 2) прийняті наступні позначення, величини яких повинні бути отримані з креслення механізму натурального зразка або розраховані:

a і b – відповідно мале і велике плечі важеля;

$F_{\omega B}$ – відцентрова сила інерції, що діє на важіль приводів затиску;

c – плече сили $F_{\omega B}$;

β – кут між дотичною до профілю фасонної поверхні муфти затиску й віссю шпинделя;

O – циліндричний шарнір важеля;

A – точка контакту малого плеча важеля з упором;

B – точка контакту великого плеча важеля з муфти затиску;

C – центр ваги важеля;

R_B – повна реакція взаємодії важеля і муфти затиску, прикладена в точці B ;

R_1, R_2, R_3 – реакції взаємодії кульки з муфти затиску, опорною і натискною шайбами відповідно;

M_{TP} – момент, що створюється силами тертя в шарнірі O ;

r_0 – радіус вала циліндричного шарніра O ;

$f = \operatorname{tg} \varphi$ – коефіцієнт тертя (приймаємо однаковий для всіх контактуючих поверхонь механізму), де φ – кут тертя.

Експериментальне підтвердження втрати затискним механізмом силових характеристик при підвищенні частоти обертання шпинделя проводиться шляхом замірів вхідного Q і вихідного T_Σ зусилля на спеціально створеному науково-дослідному стенді на прикладі мод. 1Б240. Схеми вимірювання силових характеристик затискного механізму при проведенні даного експерименту наведені на рис. 1. Оскільки різні вузли затискного механізму (привод затску і затискний патрон) по різному реагують на підвищення частоти обертання шпинделя для можливості виявлення впливу кожного з них дослідження доцільно провести з використанням різних (із закритим і відкритим замкнутим силовим контуром) затискний патрон 5 (рис. 2). Дане експериментальне дослідження виявляє (підтверджує або спростовує) необхідності розробки способів стабілізації зусилля затиску заготовки при обробці на високих частотах обертання шпинделя для можливості підвищення продуктивності токарних автоматизованих верстатів, чим також підтверджується актуальність дисертаційних досліджень.

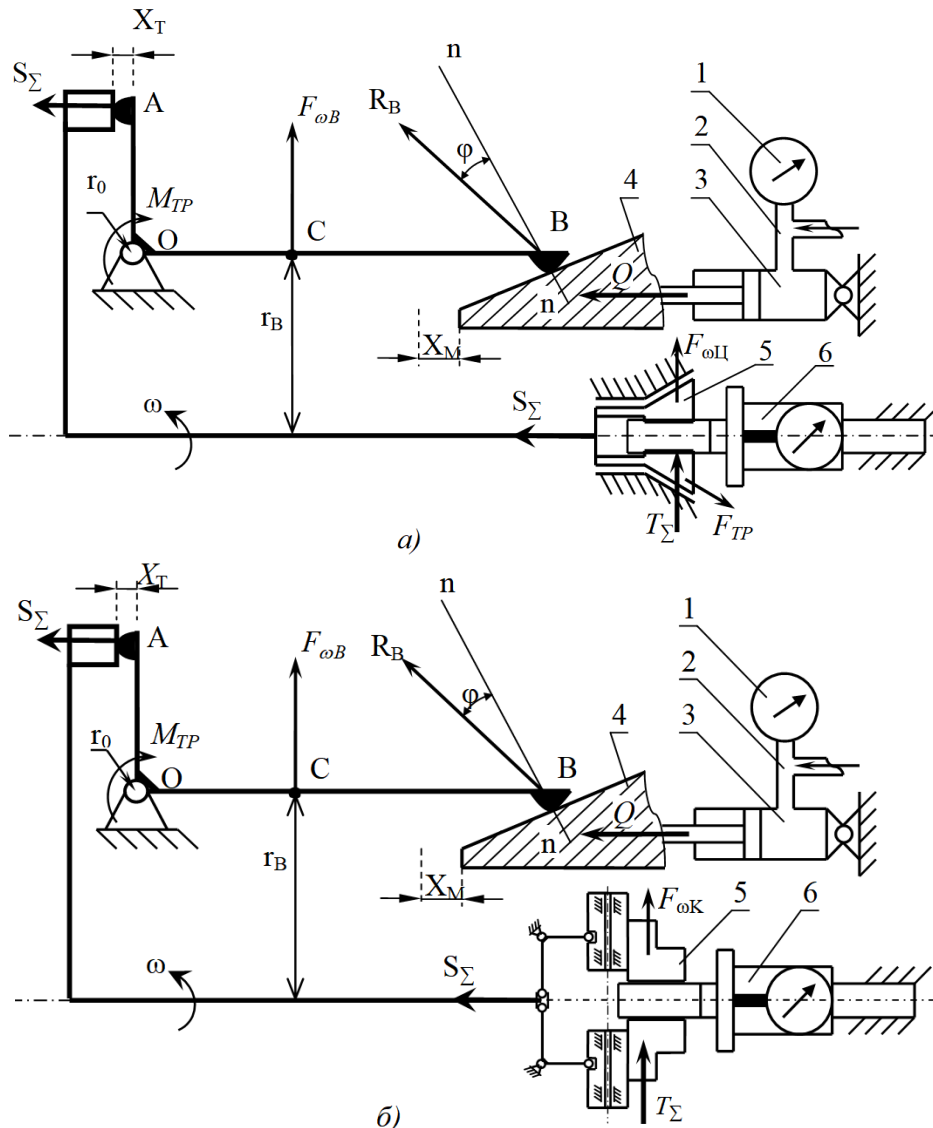


Рисунок 1 – Схеми вимірювання силових характеристик затискного механізму з цанговим – а) та важільно-кулачковим – б) затискними патронами

Експериментальне виявлення закономірності впливу частоти обертання шпинделя (відцентрових сил інерції) на силові характеристики привода затиску проводиться шляхом замірів вхідного зусилля Q на науково-дослідному стенді. Схема вимірювання силових характеристик привода затиску при проведенні даного експерименту наведені на рис. 2.

Для абстрагування від впливу відцентрових сил інерції в затискному патроні замість нього використовується навантажувальний пристрій 5 (рис. 2), що складається з набору тарілчастих пружин і чинить сталий опір переміщенню труби затиску незалежно від частоти обертання шпинделя ($S_{\Sigma} = const$). При такій схемі вимірювання вплив відцентрових сил інерції неврахованих частин привода затиску відображається на максимальному значенні вхідного зусилля Q необхідного для здійснення геометричного замикання передавально-підсилювального механізму. Дане експериментальне дослідження виконується для підтвердження виявлених теоретичних закономірностей впливу частоти обертання шпинделя на силові характеристики привода затиску, а також можливості використання привода затиску з геометричним замиканням для стабілізації зусилля затиску заготовки в міру підвищення частоти обертання шпинделя.

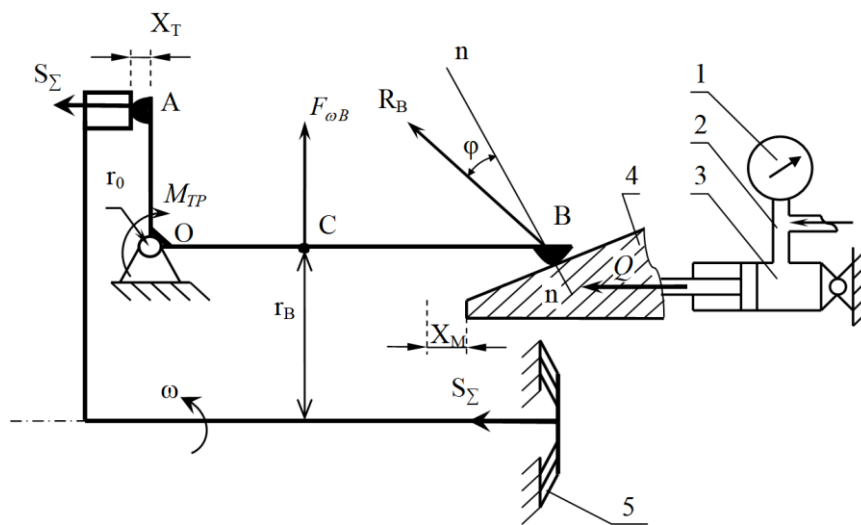


Рисунок 2– Схема вимірювання силових характеристик привода затиску з використанням навантажувального пристрою

Для проведення експериментів, що виконуються у цій роботі застосовуються наступні інструменти та обладнання:

- спеціальний науково-дослідний стенд для комплексного дослідження і випробування затискних механізмів верстатів токарної групи на різних частотах обертання;
- спеціальний динамометр для вимірювання сумарного радіального зусилля затиску затискного патрона під час обертання;
- важільний привод затиску з охопленою муфтою затиску;
- затискні патрони: цанга, важільно-кулачковий патрон, навантажувальний пристрій; тахометри.

Максимальні значення величини вхідного зусилля Q (максимальне зусилля замикання передавально-підсилювального механізму), що розвивається під час затиску при зупиненому шпинделі (як у багатошпиндельних токарних напівавтоматах 1Б240П-6 з гідроприводом затиску, токарних верстатах з ЧПК і токарно-револьверних верстатах) та під час його обертання (як у багатошпиндельних токарних автоматах) на різних частотах обчислюються за показами манометра 1 (рис. 1, 2) розміщеного на маслопроводі високого тиску 2 (надалі гідравлічний манометр) гідроциліндра 3, шток якого передає зусилля Q до затискної муфти 4.

Значення сумарного радіального зусилля затиску в затискному патроні T_{Σ} в ході експерименту вимірюється при різних частотах обертання шпинделя з допомогою спеціального динамометра 6 (рис. 1).

Після співставлення силових характеристик привода затиску, отриманих аналітичним і експериментальним шляхом, можна стверджувати про істинність (або навпаки) отриманих аналітичних виразів і теоретичної моделі (розрахункової схеми) передачі сил у приводах

механізмів затиску.

Експериментальні дослідження відповідно до запропонованої методики можуть бути проведеними на стенд, що побудований відповідно наступної кінематичної схеми. Від електропривода 1 через фрикційну передачу 2–3 обертання передається до вала I, від якого через зубчасту передачу 4–5 обертальний момент передається до шпинделя II, що встановлений у шпиндельному блоці на опорах кочення. Через підбір діаметрів шківів пасової передачі можна досягати необхідного діапазону частот обертання шпинделя.

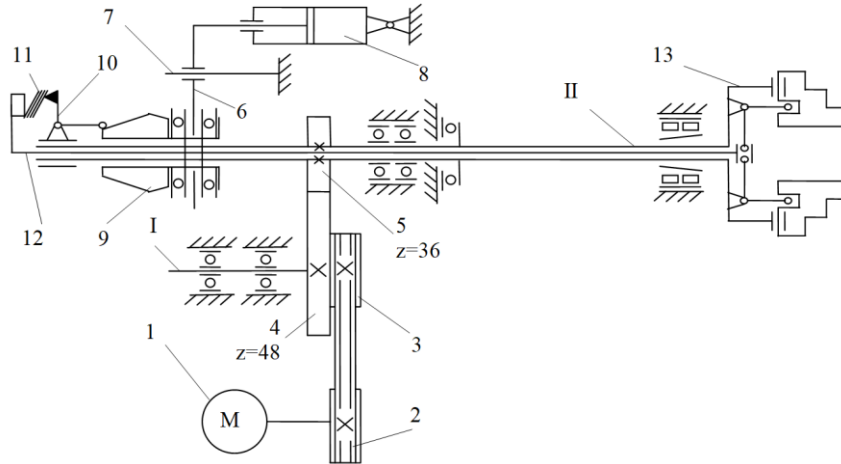


Рисунок 1– Кінематична схема стенду для досліджень механізмів затиску

Оскільки затиск заготовки у верстатах токарної групи, що працюють в автоматичному циклі відбувається під час обертання шпинделя, необхідним є виявлення впливу швидкості обертання шпинделя на працездатність приводів механізмів затиску, яка характеризується залежністю узагальненого показника ефективності роботи приводів механізмів затиску від частоти обертів. Результати дослідження сприяють проведенню верифікації залежності між частотою обертання шпиндельного вузла та енергетичними характеристиками приводів механізмів затиску з геометричним замиканням різних конструкцій. Об'єкт на який спрямовані дослідження є працездатність приводів механізмів затиску з охопленою муфтою затиску важільного передавально-підсилювального механізму під час роботи шпинделя на підвищених частотах. Для виявлення принципової відмінності у придатності для певних умов роботи різних типів конструкції приводів затиску при підвищенні частот обертання дані практичні дослідження можуть проводитися як порівняльні для взаємообернених структурних схем важільних приводів затиску, тобто схем з охопленою і охоплюючою муфтами затиску. Енергетичну характеристику механізмів відображає коефіцієнт їх корисної дії. Виявлення характеру впливу швидкості обертання шпиндельного вузла на характеристики працездатності приводів затиску може проводитися шляхом оцінки залежності спеціального коефіцієнта працездатності приводів механізмів затиску від зміни частоти обертання шпиндельного вузла. Коефіцієнт, що описує ефективність роботи визначається як відношення корисної роботи приводів механізмів затиску, що спрямована на створення зусилля затиску до затраченої.

Висновки

1. Зміна вихідного зусилля приводів механізмів затиску при зміні частоти обертання пояснюється додатковим переміщенням невідновлених елементів передавально-підсилювальних механізмів (розклинюючих елементів, важелів, ланок шарнірних механізмів і т.д.) під дією відцентрових сил інерції.

2. Вид (спадання, зростання) залежності силових та енергетичних характеристик приводів затиску з геометричним замиканням від частоти обертання шпинделя визначається конструкцією їх передавально-підсилювального механізму, зокрема видом муфти затиску. Величина зміни вихідного зусилля привода механізму затиску при підвищенні частоти обертання залежить від геометрично-масових параметрів їх передавально підсилювальних механізмів.

3. У приводах механізмів затиску з охопленою муфтою затиску при підвищенні частоти обертання шпинделя зростає величина вихідного зусилля на відміну від приводів з

охоплюючою муфтою затиску.

Література

1. Кузнецов Ю.Н. Принципы создания зажимных устройств для высокоскоростной и прецизионной обработки на металлорежущих станках. Современные технологии в машиностроении. К юбилею Ф.Я Якубова [Ю.Н. Кузнецов, А.И. Грабченко]; под общей редакцией А.И. Грабченко. – Харьков НТУ "ХПИ", 2007.
2. Кузнецов Ю.М. Цільові механізми верстатів-автоматів і верстатів з ЧПК /Кузнецов Ю.М. [Частина 3].– К.:ТОВ «ЗМОК»; Тернопіль: ТДТУ, 2001.–354 с.
3. Левина З.М. Расчёт статических и динамических характеристик шпиндельных узлов методом конечных элементов. /Левина З. М., Зверев И. А.// Станки и инструмент. - 1986. - № 8. - С.6–9.
4. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Дослідження силових характеристик токарного затискного патрона на різних частотах обертання" / Ю.М. Кузнецов, В. Н. Волошин, Фарук Вахід Ель-Дахабі та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 16 с.

METHOD OF DETERMINING THE INFLUENCE OF CENTRAL FORCES ON THE WORK OF MECHANISMS OF AUTOMATIC CLAMPING OF CYLINDRICAL WORKPIECES AND TOOLS

Prydalnyi B.I.

Lutsk National Technical University

The method of experimental determination of the influence of spindle speed on the power characteristics of clamping devices with mechanical drive, installed in the spindle units of automated metalworking machines, is presented. One of the most common embodiments of the mechanical drive of the clamping device, which contains a wedge and lever transmission and provides a geometric circuit of the system.

Key words: centrifugal forces, clamping mechanism, force transmission, clamping forces measurement

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ НА РАБОТУ МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАЖИМА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК И ИНСТРУМЕНТОВ

Прыдальний Б.И.

Луцкий национальный технический университет

Представлена методика проведения экспериментального определения влияния частоты вращения шпинделя на силовые характеристики устройств зажима с механическим приводом, устанавливаемых в шпиндельных узлах автоматизированных металлообрабатывающих станков. Рассмотрен один из наиболее распространенных вариантов выполнения механического привода устройства зажима, содержащего клиновую и рычажную передачу и обеспечивающую геометрическое замыкание системы.

Ключевые слова: центробежные силы, механизм зажима, передача сил, измерение сил зажима

УДК 681.5; 614.87; 62-5

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-20

Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Денисюк В.Ю., Решетило О. М.

Луцький національний технічний університет

ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОСВІТЛЕНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Професійний контроль рівня освітленості за допомогою приладів для визначення інтенсивності освітлення є одним з основних параметрів при створенні мікроклімату у приміщеннях. Перш за все необхідно подбати про достатність сонячного освітлення, а за необхідності, використовувати додаткові джерела освітлення.

До освітлення на виробництві висуваються вимоги, що створюють сприятливі умови для здорової роботи, які б запобігали швидкій втомлюваності очей, виникненню професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції. Основними вимогами щодо освітлення є: створення на робочій поверхні освітленості, яка відповідала б характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми; забезпечення достатньої рівномірності та постійності рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору; запобігання засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору; запобігання на робочій поверхні різких та глибоких тіней, особливо рухомих; достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються.

Ключові слова: освітленість; вимірювання освітленості; природні фактори; природне освітлення; штучне освітлення; комбіноване освітлення; загальне, місцеве освітлення; зір; травмування; мєндосинський двигун; сонячні батареї.

Постановка проблеми. Будь-які повсякденні справи людини включають використання енергії. Найбільше людина потребує освітлення. На виробництві, наприклад, недостатнє освітлення призводить до випуску неякісної продукції, потребує підвищеної уваги, впливає на зір, може привести до травмування та ін.

Професійний контроль рівня освітленості за допомогою приладів для визначення інтенсивності освітлення є одним з основних параметрів при створенні мікроклімату у приміщеннях. Перш за все необхідно подбати про достатність сонячного освітлення, а за необхідності, використовувати додаткові джерела освітлення.

Дане питання було і є дуже актуальним. Воно стосується не тільки виробничих зон та приміщень, лікарень та медичних установ, закладів торгівлі та харчування, а й звичайного повсякденного побуту.

Аналіз останніх досліджень. Згідно ДБН В.2.5-28:2018 визначені терміни та поняття, серед яких є: експлуатаційна освітленість; природне освітлення; постійне штучне освітлення; постійне додаткове штучне освітлення; гострота зору; загальне освітлення; зоровий дискомфорт; місцеве освітлення; індекс кольоропередання та ін.

Ці норми, також, визначають такі поняття, як освітлювальний прилад та освітлювальна установка.

Освітлювальний прилад (ОП) це пристрій, який перерозподіляє, фільтрує чи перетворює світло, що випромінюється лампою чи декількома лампами; містить усі необхідні деталі для кріплення і захисту ламп, а також для їх підключення до мережі живлення. Освітлювальні прилади поділяються на світильники (ближньої дії) і прожектори (дальної дії).

Освітлювальна установка (ОУ) це пристрій, призначений для освітлення, що складається з окремо виготовлених і придбаних світлотехнічних виробів (ОП, оптичних елементів, наприклад, розсіювачів, конструктивних і електротехнічних елементів), що збираються на місці за проектом даної освітлювальної установки. Також до складу ОУ включають пристрої живлення і управління освітленням, а також освітлюваний об'єкт, наприклад приміщення, ділянка полотна дороги або вулиці, стіну будівлі і т.п.

До освітлення на виробництві висуваються вимоги, що створюють сприятливі умови для здорової роботи, які б запобігали швидкій втомлюваності очей, виникненню професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції. Основними вимогами щодо освітлення є: створення на робочій поверхні

освітленості, яка відповідала б характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми; забезпечення достатньої рівномірності та постійності рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частоті переадаптації органів зору; запобігання засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору; запобігання на робочій поверхні різких та глибоких тіней, особливо рухомих; достатній для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та сумішним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним (рис.1.).

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з урахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення).

Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого (рис.1.). Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань. Особливістю людського організму є адаптування до поступової зміни освітленості у навколишньому середовищі, що, знову ж таки, створює небезпеку.



Рис. 1. Комбіноване освітлення у виробничих приміщеннях.

В основному регулювання освітленості робочих місць, проходів, сходових маршів та виробничих приміщень в цілому, відбувається в ручному режимі. Але ж на освітленість впливає і ряд природних факторів, а саме, пора доби, пора року, положення сонця протягом доби (наприклад, бокове освітлення), захмареність, опади і їх інтенсивність та ін.

Враховуючи такі обставини, обов'язковим на виробництві повинно бути автоматичне регулювання освітленості згідно ДБН В.2.5-28:2018.

У цифрових приладах для вимірювання освітленості результат вимірювань виводиться на рідкокристалічний дисплей. Вимірювальна частина в багатьох з них знаходиться в окремому корпусі і пов'язана з приладом гнучким проводом. Це дозволяє проводити вимірювання у

важкодоступних місцях. Завдяки набору світлофільтрів межі його вимірів можна регулювати. У цьому випадку показання приладу потрібно множити на певні коефіцієнти.

При оцінці освітлення застосовують декілька параметрів (сила світла, яскравість і ін.), проте головним показником є освітленість.

У Міжнародній системі одиниць мірою освітленості прийнятий 1 люкс. Люкс дорівнює освітленості поверхні площею 1 м^2 , при світловому потоці падаючого на неї випромінювання, рівному 1 люмен.

Вимірювання освітленості проводять на ділянках виконання робіт, на яких рівень освітлення є визначальним у забезпеченні умов безпеки або якості робіт. При цьому встановлюються методи визначення мінімальної, середньої і циліндричної освітленості, коефіцієнта природної освітленості в приміщеннях будівель, споруд та на робочих місцях.

Для вимірювання освітленості використовують люксметри з вимірювальними перетворювачами випромінювання, що мають спектральну похибку не більше 10%. Прилади завжди повинні перебувати в горизонтальному положенні. Їх встановлюють в необхідних точках.

Люксметр необхідно встановити на поверхню, освітленість якої вимірюється. Площина світлочутливого елемента датчика повинна бути паралельна до освітлюваної джерелом світла поверхні. Після цього знімаються покази зі шкали аналогового приладу або цифрового дисплею - це і буде освітленість даної поверхні в люксах.

Використання при експлуатації люксметрів додаткових джерел живлення і ряд складностей у їх налаштуванні та неможливості безперервності зняття показів, накладає певні обмеження у їх застосуванні.

Викладення основного матеріалу. Використання природного освітлення, або як його ще називають, сонячного, яке не потребує зайвих додаткових джерел живлення, покладено в основу наших розробок.

Сонце – це найпотужніше джерело енергії для нашої планети. Без сонячного тепла і світла будь-яке життя на Землі було б неможливе.

Енергія Сонця може використовуватися для безлічі завдань. Одне з них – це перетворення сонячної енергії в електричну, в так звану сонячну електрику. А електрика необхідна для пересування транспорту і приготування їжі, для роботи і відпочинку, для обігріву і охолодження приміщень. Переваги використання сонячної енергії є недооцінені. Хоча сонячна енергія є порівняно новим джерелом енергії, воно легко може стати найважливішим джерелом енергії в майбутньому. Це відбувається тому, що з багатьох переваг використання сонячної енергії найбільш розповсюдженими є:

- сонячна енергія, є поновлюваним ресурсом. Це означає, що ми не в страху виснаження її запасів. Хоча вона може зникнути за хмарами на мить, і недоступна в нічний час, але як правило потім повертається в повній силі;

- сонячна енергія не забруднює довкілля. На відміну від нафти, використання сонячної енергії не виділяє яких-небудь парникових газів, а також при виробленні її немає шкоди екології шляхом розливу або днопоглиблювальних робіт. Це, мабуть, одна з основних переваг використання сонячної енергії;

- електрика і тепло від Сонця є абсолютно безкоштовними. Після того, як сонячні батареї або сонячні теплові колектори встановлюються, немає електричних витрат, необхідних для їх живлення;

- сонячні батареї вимагають незначного обслуговування, в значній мірі тому немає рухомих частин, які мають бути збережені;

- сонячні батареї можуть експлуатуватися дуже і дуже довго;

- використання сонячної енергії неймовірно різностороннє. Починаючи від простих калькуляторів і продовжуючи автомобілями, водонагрівачами, фонтанами, будівлями, а також електростанціями і супутниками;

- у віддалених районах, сонячна енергія може бути реалістичнішим варіантом енергії, ніж прокладення великих кількостей електричних дротів для підключення до енергомережі.

При створенні пристроїв автоматизації контролю та регулювання освітленістю приміщень за допомогою сонячного світла, важливим є те, що доба поділяється на чотири складові, це: ранок, зі зростанням природного світла; день, із постійною присутністю світла;

вечір, із затуханням та ніч із відсутністю природного світла. Залежно від пори року, ці складові змінюються в часі.

За необхідності постійного освітлення приміщення, звісно, в якийсь проміжок вечірньої та ранішньої пори, а також вночі, контролювати енергію сонця немає потреби. У цей час система освітлення працює виключно на штучному освітленні.

Вранці, при посиленні та увечері при послабленні природного світла, система буде працювати в комбінованому режимі. Також, цей режим можливий і вдень при захмареностях і інших чинниках, які впливають на ступінь освітленості.

При штучному та комбінованому освітленні необхідно, також, контролювати та регулювати силу світла. Невідповідність значень, рекомендованих ДБН В.2.5-28:2018, може негативно впливати на стан здоров'я людини. Тому, для цього необхідно максимально автоматизувати системи контролю та регулювання освітленістю.

На основі базової моделі приладу СВП-1, була розроблений пристрій СВП-2 (рис.2) реєстрації та відтворення інформації призначена для обробки результатів виміру освітленості. Цей пристрій можна використовувати в системах автоматизованого контролю та регулювання освітленістю приміщень. Ця система працює за рахунок відомого мендосинського двигуна, який був створений на основі аналізу аналогів подібних двигунів та відповідних розрахунків.



Рис.2. Пристрій СВП-2 для реєстрації, відтворення інформації та обробки результатів виміру освітленості.

Основним елементом мендосинського двигуна є якір. Оберти якоря даного двигуна змінні, залежно від ступеня освітленості. В залежності від умов експлуатації, розташування об'єктів, що піддаються контролю та потребують спеціальних вимог до освітленості, необхідно проводити певні інженерні розрахунки для виготовлення та дослідження конкретного якоря та двигуна в цілому. Встановлення, підналагодження, адаптування під систему автоматизації необхідно проводити на місці експлуатації.

Прилад складається із таких основних частин, як мендосинський мотор та системи реєстрації, відтворення в цифровому вигляді отриманої інформації та обробки результатів виміру освітленості приміщення.

Рушійною силою для руху мендосинського двигуна є світлові промені, які потрапляють на "сонячні" батареї, що розміщені на роторі двигуна.

Сонячна батарея - це комплексна система, що складається з ряду елементів, які взаємодіють один з одним. Принцип її роботи досить простий: промені сонячного світла потрапляють на кремнієву пластину, де в свою чергу відбувається зміщення електронів кремнію з орбіт атомів. У підсумку всі вивільнені електрони стають електричним струмом. В нашому випадку, електрони передають струм на мідну обмотку, яка в свою чергу створює своє електромагнітне поле. Воно взаємодіє з магнітним полем неодимового магніту, що закріплений в корпусі мендосинського мотору, у зв'язку з чим ротор мендосинського мотору починає набирати оберти. Чим більша інтенсивність світлового потоку, тим більші оберти набиратиме якір мендосинського двигуна.

Якщо, для прикладу, принцип роботи люксметра полягає в перетворенні фотоприймачем випромінювання в електричний сигнал з подальшою цифровою індикацією числових значень освітленості в люксах, то мендосинський двигун в результаті зміни ступеня освітленості, буде змінювати оберти, і відповідна система реєстрації та відтворення інформації оброблюватиме дані, що надходять від датчиків, які розташовані поряд з мендосинським двигуном, і видаватиме результати на екран у зручній для сприйняття формі.

На якорі двигуна розташовується диск із рівномірно розміщеними по довжині кола щілинами. Відповідно до цього ж діаметра, розміщується оптична пара, яка реагує на повторювані щілини. Ці щілини існують для визначення кількості обертів якоря.

Висновки. Професійний контроль рівня освітленості за допомогою приладів для визначення інтенсивності освітлення, об'єднання їх в автоматизовану систему, є одним із основних напрямків при створенні мікроклімату у приміщеннях. Перш за все необхідно подбати про достатність природного, сонячного освітлення, а за необхідності, застосовувати комбіноване освітлення.

Прилади для визначення ступеня освітленості необхідно застосовувати скрізь, де є необхідність правильного розподілу та встановлення освітлення для виробничих та побутових потреб. Це не тільки виробничі підприємства, а й фірми, громадські місця, школи, лікарні, торгові центри і т.д. Причому, проводити вимірювання освітленості необхідно не тільки під час встановлення систем освітлення. Освітлення контролювати необхідно постійно. Адже, наприклад, забруднення ламп значно знижує рівень освітленості приміщень. Візуального контролю за станом освітлення ніяк недостатньо.

Стосовно пристроїв СВІП-1 та СВІП-2. Їх, також можна використовувати в сфері метеорології. За їх допомогою можна визначати стан повітря на непрозорість, а саме заміченість, задуманість, задимленість та ін.

Інформаційні джерела

1. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.
2. <https://simvolt.ua/suchasni-luksmetri-nadiyniy-kontrol-osvitlenosti-za-bud-yakikh-umov/>
3. Корисна модель СВІП-1

Сымолюк В.П., Лапченко Ю.С., Денісюк В.Ю., Решетыло А. М.
Луцький національний технічний університет

К АВТОМАТИЗАЦИИ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Професійний контроль рівня освітленості з допомогою приборів для визначення інтенсивності освітлення являється одним із основних параметрів при створенні мікроклімату в приміщеннях. Пріжде всего необходимо позаботиться о достаточности солнечного освещения, а при необходимости использовать дополнительные источники освещения.

К освещению на производстве выдвигаются требования, создающие благоприятные условия для здоровой работы, которые предотвращали быструю утомляемость глаз, возникновение профессиональных заболеваний, несчастных случаев и способствовали

повышению производительности труда и качества продукции. Основными требованиями по освещению являются: создание на рабочей поверхности освещенности, которая отвечала бы характеру зрительной работы и не ниже установленных норм; обеспечение достаточной равномерности и постоянства уровня освещенности в производственных помещениях во избежание частой переадаптации органов зрения; предотвращение ослепительного действия как от самих источников освещения, так и от других предметов, находящихся в поле зрения; предотвращение на рабочей поверхности резких и глубоких теней, особенно подвижных; достаточный для различения деталей контраст освещаемых поверхностей.

Ключевые слова: освещенность; измерение освещенности; природные факторы; естественное освещение; искусственное освещение; комбинированное освещение; общее, местное освещение; зрение; травмирование; мандосинский двигатель; солнечные батареи.

Symoniuk V., Lapchenko Y., Denysiuk V., Reshetylo O.
Lutsk National Technical University

TO AUTOMATION OF LIGHTING OF PRODUCTION PREMISES USING COMBINED LIGHTING

Professional control of the level of illumination by means of devices for determination of intensity of illumination is one of the main parameters at creation of a microclimate in rooms. First of all, you need to take care of the sufficiency of sunlight, and if necessary, use additional light sources.

There are requirements for lighting in the workplace, which create favorable conditions for healthy work, which would prevent rapid eye fatigue, occupational diseases, accidents and increase productivity and product quality. The main requirements for lighting are: the creation of lighting on the work surface, which would correspond to the nature of visual work and is not lower than the established norms; ensuring sufficient uniformity and consistency of the level of illumination in the production premises to avoid frequent readaptation of the visual organs; prevention of blinding action both from the light sources and from other objects in the field of view; prevention of sharp and deep shadows on the work surface, especially moving ones; sufficient contrast of the illuminated surfaces to distinguish the details.

Key words: illumination; illumination measurement; natural factors; natural light; lamplight; combined lighting; general, local lighting; vision; injuries; Mendoza engine; solar panels.

УДК 331.45

Стасюк В.М. DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-21

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ІНСТИТУЦІОНАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ: ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ВИРОБНИЦТВА

Від якості інституціонального середовища цивільної безпеки (насамперед, вагомої її складової – охорони праці) істотно залежить безпека виробничих процесів. Мало того, оскільки безпека праці є вагомим соціальним складником національної безпеки держави, то досконалість нормативно-правового забезпечення охорони праці також є дуже важливим фактором і в цьому сенсі. У статті наведені узагальнені результати досліджень законодавчого та нормативного забезпечення охорони праці як складника інституціонального середовища цивільної безпеки, показано його недосконалість. Виконано критичний аналіз окремих позицій Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні. Оцінено відповідність Рекомендацій щодо побудови, впровадження та вдосконалення системи управління охороною праці законодавству Європейського Союзу. Надано рекомендації щодо імплементації норм європейського законодавства у сфері охорони здоров'я та безпеки праці. Доведено доцільність збереження багатьох норм вітчизняного законодавства зі сфери цивільної безпеки як таких, що забезпечують належний рівень безпеки виробництва. Доведено, що без достатньої кількості фахівців із цивільної безпеки ефективна імплементація норм європейського законодавства неможлива.

Ключові слова: *нормативно-правова база, охорона праці, цивільна безпека, безпека праці, європейське законодавство.*

Постановка проблеми. Від досконалості нормативно-правового забезпечення охорони праці істотно залежить рівень безпеки виробництва. А оскільки охорона праці є одним із найважливіших складників цивільної безпеки (нарівні з пожежною безпекою, техногенною безпекою та цивільним захистом), то можна стверджувати, що від якості інституціонального середовища цивільної безпеки у цілому в більшій або меншій мірі залежить безпека будь-яких виробничих процесів. Тому дослідження інституціонального середовища цивільної безпеки з метою його удосконалення є актуальним науковим і прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед значного числа опублікованих протягом останнього часу наукових робіт, присвячених розглядуванню у статті питанням, особливої уваги заслуговують роботи [1-3]. Виконані у них аналітичні дослідження та запропоновані за їх результатами заходи безсумнівно потрібно втілювати у життя. Однак найбільша увага приділена проблемам охорони та безпеки праці, в той час як станом на сьогоднішній день в умовах економічної нестабільності в державі та в розрізі подій на Сході України на наш погляд варто піддавати якомога глибшому аналізу інституціональне середовище цивільної безпеки в цілому, прагнучи поліпшити його якість та відповідність вартим цього нормам європейського законодавства. Це, зокрема, один із ефективних шляхів, підвищення безпеки виробничих процесів.

Формулювання цілей статті. Виконати загальний аналіз стану та якості нормативно-правового забезпечення охорони праці як одного із найвагоміших складників інституціонального середовища цивільної безпеки, довести важливість та необхідність підготовки достатньої кількості фахівців із цивільної безпеки та охорони праці для забезпечення покращення якості інституціонального середовища цивільної безпеки, виконати критичний аналіз доцільності імплементації всіх норм європейського законодавства охорони здоров'я і безпеки праці.

Результати досліджень. Під інституціональним середовищем цивільної безпеки варто розуміти, насамперед, нормативно-правове забезпечення охорони праці, цивільного захисту, техногенної та пожежної безпеки, а також значну кількість різноманітних інститутів, які втілюють державну політику у кожній із перерахованих сфер у життя. Хотілося б, перш за все, акцентувати увагу на якості нормативно-правового забезпечення, від якої істотно залежить ефективність діяльності у кожній зі сфер.

Наприклад, в охороні праці. Законодавча та нормативна бази повинні бути однозначними та зрозумілими кожному працівнику. Чого не скажеш про них у сфері охорони праці, особливо через надзвичайно велику громіздкість, часте неспівпадання формулювання термінів (при однаковій їх суті), тавтологію тощо. На недосконалість нормативно-правового у сфері охорони праці наголошується, зокрема, у «Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні» [4]. Це досить важливо, адже вона «... визначає принципи, основні напрями та завдання побудови системи організації безпеки та гігієни праці в Україні на основі ризикоорієнтованого підходу для забезпечення впровадження стандартів Європейського Союзу» [4].

Зокрема, акцентується увага на наявності занадто великої кількості нормативно-правових актів із безпеки та гігієни праці, що гальмує процес оперативного внесення відповідних змін у нормативно-правову базу з охорони праці одночасно із запровадженням нових технологій і змінами в економіці держави у цілому: «Жорстка регламентація правил виконання робіт і використання машин і механізмів призвела до накопичення значного обсягу нормативно-правових актів з безпеки та гігієни праці і не дає можливості оперативно та своєчасно реагувати на швидкий розвиток технологій та економіки і характеризується неефективним використанням ресурсів» [4].

Крім того, часті посилання практично в кожному законодавчому та нормативному акті на інші документи значно ускладнюють швидке та ефективно користування ними навіть досвідченим фахівцям у сфері охорони праці. А як тоді швидко та якісно розробити інструкцію з охорони праці звичайному інженеру з охорони праці (у випадку необхідності), якому через гострий брак часу не до відслідковування частих змін у законодавчій та нормативній базі? Ніби звичайна річ – інструкція, а насправді саме від її досконалості та дотримання усіх перерахованих у ній вимог залежить життя і здоров'я працівників, рівень травматизму та професійної захворюваності на підприємстві, безпека виробництва в цілому тощо.

Тому марно серед основних напрямів реформування системи управління охороною праці в Україні згідно вищезазначеної концепції зазначається анулювання застарілих законодавчих і нормативних вимог, які досить часто мають суперечливий характер, сучасними положеннями за прогресивними європейськими зразками (аналогами): «... удосконалення законодавства з безпеки та гігієни праці з одночасним підвищенням рівня безпеки та гігієни праці працівників, яке включатиме:

- усунення дублюючих, застарілих і суперечливих положень законодавства, приведення його у відповідність з міжнародними нормами Європейського Союзу з безпеки та гігієни праці;
- прийняття загального закону, який слугуватиме правовою базою національної системи запобігання виробничим ризикам і заохочення до створення безпечних і здорових умов праці, визначить загальні функції, основні обов'язки та права всіх заінтересованих сторін у зазначеній сфері (держави, працівників, роботодавців, представницьких об'єднань працівників і роботодавців, інших суб'єктів) стосовно безпеки та гігієни праці...» [4].

Тобто це дозволяє зробити висновок, що на найвищому державному рівні є розуміння того, що нормативно-правове забезпечення охорони праці як вагомого складника цивільної безпеки терміново потрібно оновлювати, орієнтуючись на норми європейського законодавства у цій сфері. А це покращення якості інституціонального середовища цивільної безпеки (нехай лише в сфері нормативно-правового забезпечення охорони праці), спрямоване в кінцевому рахунку на поліпшення безпеки виробництва, зменшення травматизму, профзахворюваності тощо.

Щодо гармонізації норм вітчизняного законодавства у сфері охорони праці з відповідними положеннями Європейського Союзу, то варто відзначити, що станом на сьогоднішній день в Україні чинні Рекомендації щодо побудови, впровадження та вдосконалення системи управління охороною праці (далі – СУОП), затверджені головою Держгірпромнагляду 07.02. 2008 р. Хоча вони складені з урахуванням тенденцій ризикоорієнтованого підходу, однак рівень їх гармонізації із європейським законодавством не дуже високий. Автор роботи [1] зазначає, що «... більшість положень цих Рекомендацій щодо порядку побудови, впровадження та вдосконалення СУОП не гармонізовані з положеннями прогресивного Міжнародного стандарту 2018-03-12 ISO 45001 «Системи менеджменту охорони здоров'я й безпеки праці – Вимоги та рекомендації по застосуванню» (далі – Стандарт ISO 45001). Стандарт ISO 45001 – це збірник найсучасніших світових вимог до охорони здоров'я і безпеки праці, які були зібрані з передового досвіду Міжнародної організації праці та всіх

існуючих до цього норм і стандартів. Тому роботодавець, що працює за вимогами цього стандарту, має можливість: знизити рівень травматизму і професійних захворювань; зменшити витрати на лікарняні і страхові виплати; підвищити лояльність співробітників, що зменшить плинність кадрів і підвищить продуктивність праці; зміцнити імідж компанії; бути готовим до перевірок контролюючих органів, що зменшує можливість отримання штрафів. Також наявність сертифікату ISO 45001 може бути як вимога щодо його участі в тендері. Отже, сьогодні роботодавці можуть пройти лише платну сертифікацію за цим стандартом. Ця послуга залишається недоступною для малого і середнього бізнесу, тому, на наш погляд, держава в особі Держпраці повинна в цьому випадку дати можливість їм розвиватися за кращим стандартом, гармонізуючи положення Рекомендацій щодо побудови, впровадження та вдосконалення системи управління охороною праці зі Стандартом ISO 45001» [1].

Положення, які стосуються співробітництва між владними структурами, працівниками та роботодавцями у сфері охорони праці у вітчизняній нормативно-правовій базі явно застаріли. Недосконалий також механізм розслідування нещасних випадків на виробництві. На цих позиціях акцентує увагу Чернега Р.Т. у публікації [2]. Він зазначає, що для сфери охорони праці властиві як застарілість правового забезпечення співпраці між органами публічної влади, роботодавцями та працівниками, так і прогалини у нормативно-правовій базі щодо розслідування нещасних випадків на виробництві. Крім того, автор наголошує, що не забезпечується дотримання принципу рівності процесуальних прав працівників і роботодавців у процесі розслідування нещасних випадків на виробництві [2].

Чернега Р.Т. наголошує також на відсутності імплементації прогресивних міжнародних стандартів у сфері охорони праці, невідповідності їм норм вітчизняного законодавства, зокрема в частині обов'язків роботодавця:

- «Невідповідність національного законодавства щодо охорони праці європейським та міжнародним стандартам:

- використання різної термінології;
- відсутність імплементації міжнародних стандартів ISO 14000 та OHSAS 18001:2007;
- різний обсяг обов'язків роботодавця за міжнародним та національним законодавством щодо охорони праці» [2].

Не приділяється також належна увага рекомендаціям та заохоченням:

- «Відсутність розвитку правового забезпечення втілення таких повноважень органів державної влади, які відповідно до ст. 30 Закону України «Про охорону праці» наділені компетенцією у сфері охорони праці, як рекомендація та заохочення» [2].

Крім того, немаловажним є той факт, що у різноманітні галузі промисловості України надходить виробниче обладнання, устаткування, машини, механізми тощо зарубіжного виробництва, досвіду безпечної експлуатації яких або зовсім небагато, або немає зовсім. Хоча законом України «Про охорону праці» [5] передбачено, що «Технологічні процеси, машини, механізми, устаткування, транспортні засоби, хімічні речовини і їх сполуки та інша небезпечна продукція, придбані за кордоном, допускаються в експлуатацію (до застосування) лише за умови проведення експертизи на відповідність їх нормативно-правовим актам з охорони праці, що чинні на території України» [5], однак чи завжди якісна зазначена експертиза, чи досконалий механізм її проведення і чи мають відповідну підготовку фахівці, які її здійснюють? Питання залишаються відкритими особливо ще в тому сенсі, що заклади вищої освіти нашої держави щороку готують все меншу кількість фахівців із цивільної безпеки та охорони праці, які таку експертизу можуть проводити на належному рівні.

Водночас саме ці фахівці спроможні втілювати у життя задекларовану у вищезазначеній концепції національну систему запобігання виробничим ризикам. Запровадження такої системи вбачається концепцією чи не основним шляхом і способом вирішення назрілих проблем у системі управління охороною праці, а створення її здійснюється з метою «... забезпечення ефективної реалізації права працівників на безпечні та здорові умови праці» [4]. Згідно концепції: «Запровадження національної системи запобігання виробничим ризикам, заснованої на принципах усунення небезпек, оцінюванні, контролі ризиків та управлінні ними, є головним механізмом, що застосовується багатьма країнами світу для ефективного і дієвого заохочення до створення безпечних і здорових умов праці як на державному, регіональному, галузевому і місцевому рівні, так і на рівні окремого підприємства і робочого місця. Така система повинна

формуватися відповідно до послідовної ієрархії визначених Директивою Ради [№ 89/391/ЄЕС](#) таких загальних принципів:

- запобігання ризикам;
- оцінювання ризиків, яких не можна уникнути;
- усунення джерел ризиків...» [4].

Адже згідно «Стандарту вищої освіти України за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» галузі знань 26 «Цивільна безпека» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти», введеного в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 29.10. 2018 р. № 1170 [6], інтегральною компетенцією, властивою для фахівця з цивільної безпеки бакалаврського рівня, має бути: «Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час практичної діяльності або у процесі навчання, яка передбачає застосування теорій та методів проведення моніторингу, запобігання виникненню аварій, надзвичайних ситуацій, нещасним випадкам (на виробництві) і професійним захворюванням, оцінювання їх можливих наслідків та їх ліквідування» [6], а серед спеціальних (фахових) компетентностей:

- «К16. Здатність до оцінювання ризиків виникнення та впливу надзвичайних ситуацій на об'єктах суб'єкта господарювання та ризиків у сфері безпеки праці» [6];
- «К18. Здатність до аналізу й оцінювання потенційної небезпеки об'єктів, технологічних процесів та виробничого устаткування для людини й навколишнього середовища» [6];
- «К20. Здатність обґрунтовувати та розробляти заходи, спрямовані на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, захист населення і територій від надзвичайних ситуацій, забезпечення безпечної праці та запобігання виникненню нещасних випадків і професійних захворювань» [6].

Про спроможність таких фахівців втілювати в життя не лише завдання вищезгаданої концепції, а й інших програмних документів у сфері охорони праці, техногенної безпеки тощо свідчать також і передбачені «Стандартом вищої освіти України за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» галузі знань 26 «Цивільна безпека» [6] для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти» надзвичайно вагомі результати навчання, серед яких:

- «РН07. Обирати оптимальні заходи і засоби, спрямовані на зменшення професійного ризику, захист населення, запобігання надзвичайним ситуаціям» [6];
- «РН14. Ідентифікувати небезпеки та можливі їх джерела, оцінювати ймовірність виникнення небезпечних подій та їх наслідки» [6].

Тобто забезпечення виробництв та інститутів цивільної безпеки фахівцями з цивільної безпеки, спроможними вести ефективну та результативну діяльність, зокрема і спрямовану на запровадження в цій галузі ризикоорієнтованого підходу, керуючись Директивою Ради [№ 89/391/ЄЕС](#) та іншими подібними програмними документами, дозволить істотно покращити якість інституціонального середовища цивільної безпеки, зокрема і в царині охорони праці.

Необхідність удосконалення нормативно-правового забезпечення з охорони праці як складника інституційного середовища цивільної безпеки важливе та необхідне також із тих позицій, що безпека праці є соціальною складовою національної безпеки України (що особливо важливо в контексті інтеграції України в європейське співтовариство). Аналізуючи безпеку праці в такому контексті, Пасічник В.М. акцентує увагу на жорсткіших вимогах (в окремих випадках) вітчизняного законодавства порівняно з міжнародним, не досконалості нормативно-правового забезпечення з охорони праці з тих позицій, що «... наявний масив нормативно-правових актів у сфері охорони та безпеки праці часто суперечить положенням раніше прийнятих нормативних актів, містить акти і норми, що формально не діють через наявність прогалин і неузгоджених положень» [3].

Автор аргументовано доводить, що безпека праці є важливим соціальним складником національної безпеки України: «Національна безпека є складним багатоаспектним явищем, що поєднує воєнну, соціальну, економічну, політичну, інформаційну та екологічну складові. З огляду на вищезазначене, безпека праці є важливою соціальною складовою національної безпеки, оскільки вона передбачає вжиття необхідних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі праці та недопущення нещасних випадків у майбутньому. Від забезпечення безпеки праці значною мірою залежить забезпечення суспільної стабільності й задоволення українських національних інтересів» [3]. Крім того, у публікації зазначається, що у нормативно-правових актах права та обов'язки органів державного

нагляду різняться між собою, що є ще одним із недоліків вітчизняного нормативно-правового забезпечення у галузі охорони праці.

Результати проведених Пасічником В.М. досліджень, наведених у публікації [3], по суті, служать ще одним підтвердженням необхідності мати досконале інституційне забезпечення як сфери охорони праці, так і цивільної безпеки в цілому. Воно повинне забезпечувати високу ефективність діяльності інститутів цивільної безпеки, до яких також відносяться вищезгадані органи державного нагляду. Адже в кінцевому рахунку це знаходить своє відображення на рівні національної безпеки нашої держави.

Водночас, імплементуючи норми європейського законодавства, не варто нехтувати прогресивними положеннями нашого, вітчизняного, багаторічний досвід використання яких підтвердив їх високу ефективність. Крім того, обов'язково потрібно враховувати особливості нашого суспільства, «перехідний період» у якому затягнувся на десятки років. Не все, що працює в Європі, дасть позитивні результати у нас. Чи мало прийнято прогресивних законів у нашій державі на сьогоднішній день? Але скільки з них «працюють»? Тому, щоб не опинитися у такій ситуації і в охороні праці, до імплементации потрібно підходити виважено, глибоко та досконало аналізуючи кожну норму, перш ніж дати їй шанс опинитися у вітчизняному законодавстві. Потрібно імплементувати не повністю весь документ, всю директиву тощо, а лише ті позиції, які можуть дати позитивний результат, враховуючи надзвичайно складні процеси в економіці та суспільстві. Імплементувати не для «галочки», не для демонстрації псевдозмін перед європейською співдружністю, а для користі, дійсно переслідуючи благородну мету зменшення травматизму, професійної захворюваності, аварійності тощо.

Висновок. Інституціональне середовище цивільної безпеки істотно впливає на безпеку виробничих процесів (в контексті охорони праці). Однак станом на сьогоднішній день воно вимагає істотного покращення. Одним із ефективних шляхів такого покращення є імплементация прогресивних норм європейського законодавства, що вже неодноразово декларувалося державою. Однак створенням лише нормативно-правової бази на кшталт європейської із запозиченням із неї значної кількості норм може на дати сподіваного результату. Адже українське суспільство істотно відрізняється від розвинутих європейських держав – політичні та економічні процеси у ньому нестабільні, культура виробництва далеко не найвищому рівні, підходи до охорони праці/цивільної безпеки бажають бути кращими. Тому імплементувати потрібно виважено, кожну норму потрібно глибоко аналізувати на предмет можливості її адаптації у нашому суспільстві.

Крім того, якими б досконалими не були європейські норми і які б благородні цілі вони не переслідували – без достатньої кількості якісно підготовлених фахівців із цивільної безпеки їх впровадження буде або поверхневим (яке не забезпечить отримання очікуваних результатів), або взагалі фіктивним. А для цього потрібна відповідні підходи на найвищому державному рівні.

Інформаційні джерела

1. Козлов О.С. Деякі проблеми забезпечення конституційного права на належні, безпечні і здорові умови праці у світлі концепції правового аутопоезису. – Південноукраїнський правничий часопис. № 1. 2021. С. 127 – 132. DOI <https://doi.org/10.32850/sulj.2021.1.22>.
2. Чернега Р.Т. Практичні проблеми у сфері правового забезпечення охорони праці в Україні. – Соціальне право. № 2. 2019. С. 93 – 101.
3. Пасічник В.М. Безпека праці як соціальна складова національної безпеки України в контексті європейської інтеграції: нормативно-правовий аспект. – Науковий вісник. – № 1(27). 2021. DOI: 10.33990/2070-4038.27.2021.239238. ORCID: 0000-0002-2447-2374. URL: <file:///C:/Users/836D~1/AppData/Local/Temp/239238-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-551116-1-10-20210915.pdf> (дата звернення: 21.10. 2021).
4. Концепція реформування системи управління охороною праці в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. №989-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/989-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 29.09. 2021).
5. Про охорону праці: Закон України від 14.10. 1992 р. № 2695-XII / Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 49. – С. 669.

6. Стандарт вищої освіти України за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» галузі знань 26 «Цивільна безпека» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти», ведений в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 29.10. 2018 р. № 1170.

Стасюк В.М.

Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ СРЕДА ГРАЖДАНСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

От качества институциональной среды гражданской безопасности (прежде всего, весомой ее составляющей – охраны труда) существенно зависит безопасность производственных процессов. Мало того, поскольку безопасность труда является важной социальной составляющей национальной безопасности государства, то совершенство нормативно-правового обеспечения охраны труда также является очень важным фактором и в этом смысле. В статье приводятся обобщенные результаты исследований законодательного и нормативного обеспечения охраны труда как составляющей институциональной среды гражданской безопасности, показано его несовершенство. Выполнен критический анализ отдельных позиций Концепции реформирования системы управления охраной труда в Украине. Оценено соответствие Рекомендаций по построению, внедрению и совершенствованию системы управления охраной труда законодательству Европейского Союза. Даны рекомендации по имплементации норм европейского законодательства в сфере здравоохранения и безопасности труда. Доказано целесообразным оставить без изменений многие нормы отечественного законодательства из сферы гражданской безопасности, поскольку они обеспечивают надлежащий уровень безопасности производства. Доказано, что без достаточного количества специалистов гражданской безопасности эффективная имплементация норм европейского законодательства невозможна.

Ключевые слова: *нормативно-правовая база, охрана труда, гражданская безопасность, безопасность труда, европейское законодательство.*

Stasiuk V.M.

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

INSTITUTIONAL ENVIRONMENT OF CIVIL SECURITY: IMPACT ON PRODUCTION SAFETY

The safety of production processes significantly depends on the quality of the institutional environment of civil security (first of all, its important component - labor protection). Moreover, since occupational safety is an important social component of the national security of the state, the perfection of regulatory and legal support for labor protection is also a very important factor in this sense. The article presents the generalized results of researches of legislative and normative maintenance of labor protection as a component of the institutional environment of civil security and shows its imperfection. It has been performed a critical analysis of certain positions of the Concept of reform of the labor protection management system in Ukraine. It has been also assessed the compliance of the Recommendations on the construction, implementation and improvement of the labor protection management system with the legislation of the European Union. Recommendations for the implementation of European legislation in the field of health and occupational safety have been provided. It has been demonstrated the expediency of preserving many norms of domestic legislation in the field of civil security as those that ensure an adequate level of industrial safety. It has been proved that without a sufficient number of civil security specialists effective implementation of European legislation is impossible.

Keywords: *regulatory and legal framework, labor protection, civil security, occupational safety, European legislation.*

УДК 621.358.42

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-22

Фльонц О.В. к.т.н., Кирик О.М. ст. викл.

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

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ШЛІЦЬОВИХ ПРИВОДІВ МАШИН

Найважливішим критерієм роботоздатності шліцевих з'єднань є опір робочих поверхонь зминанню та спрацюванню, яке виникає через відносні мікро-переміщення навантажених поверхонь внаслідок деформації вала та зазорів у деталях з'єднання. У профільному з'єднанні охоплююча та охоплювана поверхні деталей мають некруглу форму в поперечному перерізі. Такі з'єднання застосовують для встановлення на валах рукояток, маховиків, а інколи й важконавантажених деталей. Більш досконалими є такі профільні з'єднання, контури яких мають властивість рівноосності — незмінності відстані між двома паралельними дотичними до контуру. В цьому разі спроцуються технологія обробки поверхонь деталей з'єднання. Розроблені технологічні передумови проектування стенда для дослідження напружень і навантажувальної здатності шліцевих приводів сільськогосподарських машин і на їх основі спроектувати відповідний стенд. Виведені аналітичні залежності для розрахунку міцності шліцевих з'єднань, допустиме напруження в парах тертя та інше.

Ключові слова: шліцеві приводи, стенд, навантажувальна здатність.

Постановка проблеми. Шліцеві механізми отримали широке використання в машинобудуванні за рахунок наступних переваг перед спорідненими:

- здійснюють передачу значних крутних моментів на певній довжині (коробки зміни швидкостей і подач);
- більш рівномірного розподілу навантаження на зуби;
- підвищення несучої здатності механізму.

Зубчасті шліцеві з'єднання порівняно з шпонковими мають такі переваги: можливість передачі більших обертових моментів (при однаковій довжині маточини) завдяки значно більшій поверхні контакту з'єднаних деталей та рівномірному розподілу навантаження по цій поверхні, більш точне центрування деталей по валу, краще напрямлення деталей при переміщенні їх уздовж вала.

Мета досліджень. Розробити технологічні передумови проектування стенда для дослідження напружень і навантажувальної здатності шліцевих приводів сільськогосподарських машин і на їх основі спроектувати відповідний стенд.

Результати досліджень. Основним критерієм роботоздатності шліцевих з'єднань є опір робочих поверхонь зминанню та спрацюванню, яке виникає через відносні мікро-переміщення навантажених поверхонь внаслідок деформації вала та зазорів у деталях з'єднання (корозійно-металічне спрацювання). У загальному випадку для всіх типів зубчастих з'єднань, навантажених обертовим моментом, умовне напруження зминання робочих поверхонь шліців визначають за формулою [2]

$$\sigma_{зм} = 2T / (d_m h l z \xi), \quad (1)$$

де $2T/d_m$ – колова сила в шліцевому з'єднанні, Н;

d_m – середній діаметр шліцевого з'єднання, мм;

h – висота робочої поверхні контакту шліцевої передачі, мм;

l – довжина шліца деталі, яка є у взаємодії з шліцом вала, мм;

z – кількість зубів у з'єднанні;

ξ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність поділу навантаження на шліцах.

Робото здатність шліцевого з'єднання забезпечується за умови $\sigma \leq [\sigma_{зм}]$, де $[\sigma_{зм}]$ – допустиме напруження, що запобігає зминанню та спрацюванню шліців.

Умовне допустиме напруження для обмеження спрацювання визначають за формулою [2]:

$$[\sigma_{сп}] = [\sigma]_{сп} K_N / (K_E \cdot K_{OC} \cdot K_M), \quad (2)$$

де $[\sigma]_{сп}$ – середнє допустиме напруження, Н/см²;

K_E – коефіцієнт режиму навантаження шліцевого з'єднання;

K_{OC} – коефіцієнт режиму руху без навантаження;

K_M – коефіцієнт умов змащення з'єднання;

K_N – коефіцієнт числа циклів навантаження, який визначають з залежності

$$K_N = \sqrt{10^8 N}, \quad (3)$$

де $N = 60nh$;

n – частота обертання вала, об/хв.;

h – термін служби з'єднання, год.

У профільному з'єднанні охоплююча та охоплювана поверхні деталей мають некруглу форму в поперечному перерізі. Це дає змогу передавати обертовий момент без використання додаткових деталей. Такі з'єднання застосовують для встановлення на валах рукояток, маховиків, а інколи й важконавантажених деталей (наприклад, з'єднання корабельного тягового гвинта з трансмісійним валом).

На практиці мають застосування овальний, трикутний та квадратний контури поперечного перерізу профільного з'єднання. Більш досконаліми є такі профільні з'єднання, контури яких мають властивість рівноосності — незмінності відстані між двома паралельними дотичними до контуру. В цьому разі спрощується технологія обробки поверхонь деталей з'єднання.

Порівняно із шпонковими та зубчастими з'єднаннями профільне з'єднання відрізняється меншою концентрацією напружень та кращим центруванням. Недоліком цього з'єднання є складність виготовлення профільних поверхонь.

За вище приведеними аналітичними залежностями можна визначити параметри шліцьових з'єднань на стенді, який зображений на рис. 1.

Стенд для дослідження характеристик шліцьових механізмів виконано у вигляді плити 1, до якої жорстко закріплені всі вузли і механізми. Перпендикулярно до плити позаду приварена вертикальна стійка 2 до якої з двох кінців жорстко закріплені опори права 3 і ліва 4. Крім цього на плиті жорстко встановлена направляюча ластівкового хвоста 5 з можливістю осьового переміщення по направляючій 6 і приводом 7 з привідним гвинтом 8

В опори 3 і 4 жорстко встановлений шліцьовий вал 9 його кінцями з можливістю осьового і кругового провертання разом з ним. На зовнішньому діаметрі шліцьової втулки виконано зубчастий вінець 11, який за допомогою ланцюгової передачі є у взаємодії з зірочкою 12 електродвигуна 13, який жорстко встановлений на рухомій направляючій ластівкового хвоста 5.

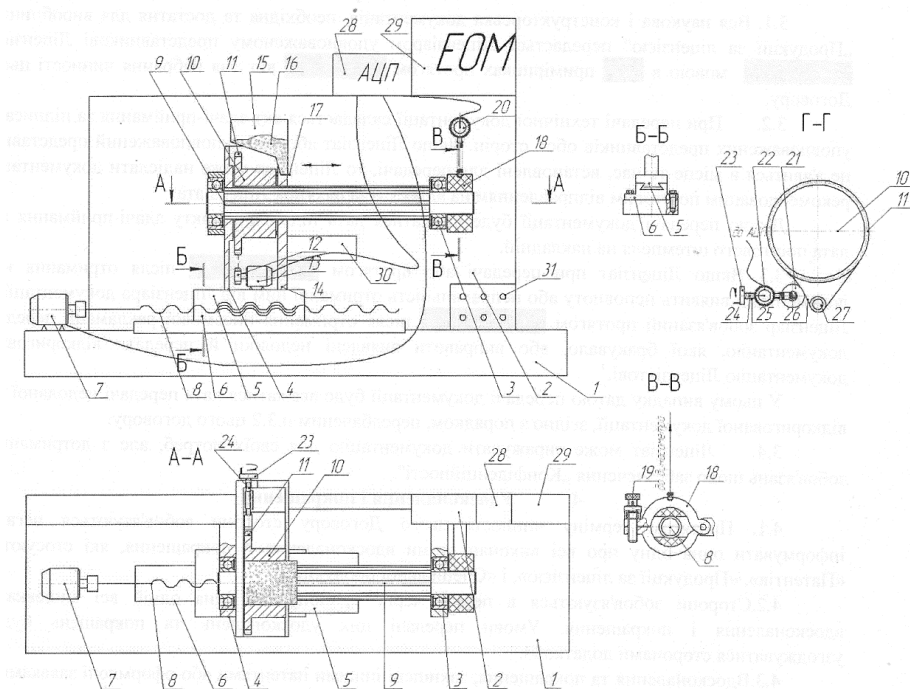


Рис. 1. Компонувальна схема стенда для дослідження характеристик шліцьових механізмів

З правої сторони електродвигуна 13 жорстко, перпендикулярно до вертикальної стійки 2, приварено кронштейн 14, а в зоні правого кінця шліцьової втулки 10 жорстко встановлено бункер 15 з сипким абразивним матеріалом 16 і заслінкою 17 для регулювання величини подача абразивного матеріалу в зону тертя.

До правого вільного кінця шліцьового вала 9 встановлені навантажувальні пристрої, наприклад, гальмівна пара 18, яка за допомогою гвинта 19 створює необхідний тиск, а також динамометр 20, який встановлює величину тиску на поверхню сили тертя.

Також на вільному лівому кінці шліцьового вала 9 встановлено притискний пристрій шківів 21 з динамометром 22 і рукояткою 23, який через гвинт 24 і гвинтову опору 25 створюють необхідне навантаження на притискний шків і привідний ланцюг 26, який через опорний ролик 27 здійснює навантаження на шліцьовий вал 9.

Динамометри 20 і 22 і електродвигуни 7 і 13 під'єднані до комп'ютера 29 для зняття показників.

Висновки. Розроблені технологічні передумови розрахунку і проектування шліцьових приводів сільськогосподарських машин. Спроектовано і запатентовано стенд для дослідження шліцьових приводів машин, які мають широке використання у машинобудуванні.

Інформаційні джерела

1. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. Павлице В.Т. К. Вища школа, 1993.—556с.
2. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Видав. Національний університет "Львівська політехніка", 2006.—196с.
3. Турпаев А.И Винтовые механизмы и передовые. М.Машиностроение,1982. – 222с.
4. Пат.№39308 Україна. Стенд для дослідження приводів машин. Фльонц О.В., Білик С.Т. та інші. Бюл.№4, 2009

Фльонц О.В. к.т.н., Кирик О.М. ст. препод.

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

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ ПРИВОДОВ МАШИН

Важнейшим критерием работоспособности шлицевых соединений является сопротивление рабочих поверхностей сминанию и срабатыванию, возникающее из-за относительных микроперемещений нагруженных поверхностей вследствие деформации вала и зазоров в деталях соединения. В профильном соединении охватывающая и охватываемая поверхности деталей имеют некруглую форму в поперечном сечении. Такие соединения применяют для установки на валах рукояток, маховиков, а иногда и тяжело нагруженных деталей. Более совершенны такие профильные соединения, контуры которых обладают свойством равноосности — неизменяемости расстояния между двумя параллельными соприкасающимися с контуром. В этом случае упрощается разработка обработки поверхностей деталей соединения. Разработаны технологические предпосылки проектирования стенда для исследования напряжений и погрузочной способности шлицевых приводов сельскохозяйственных машин и на их основе спроектировать соответствующий стенд. Выведены аналитические зависимости для расчета прочности шлицевых соединений, допустимое напряжение в парах трения и прочее.

Ключевые слова: шлицевые приводы, стенд, погрузочная способность.

Фльонц О.М. Ph.D., Kirik O.M. art. lecturer

Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Brzezany Agrotechnical Institute"

STAND FOR INVESTIGATION OF LOADING CAPACITY OF SLOT DRIVES OF MACHINES

The most important criterion for the performance of slotted joints is the resistance of the working surfaces to crushing and actuation, which occurs due to the relative micro-displacements of the loaded surfaces due to shaft deformation and gaps in the joint details. In the profile connection, the enclosing and enclosing surfaces of the parts have a non-circular shape in cross section. Such connections are used to install on the shafts of handles, flywheels, and sometimes heavy parts. More advanced are such profile connections, the contours of which have the property of equivalence - the invariance of the distance between two parallel tangents to the contour. In this case the technology of processing of surfaces of details of connection is simplified. Technological prerequisites for the design of a stand for the study of stresses and load capacity of splined drives of agricultural machinery and on their basis to design a suitable stand. Analytical dependences for calculating the strength of spline joints, allowable stress in friction pairs, etc. are derived.

Key words: *splined drives, stand, loading capacity.*

УДК 621.91

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-23

Швець С. В., к.т.н., Швець У. С., к.ф.-м.н.

Сумський державний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕНЬ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН НА КОРПУСІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

У статті описаний спосіб визначення положення базових поверхонь на корпусі інструменту для забезпечення необхідних значень кутів обраної змінної багатогранної пластини (індексованої вставки - indexed insert) в статичній системі координат. Аналіз публікацій показав, що у сучасному виробництві інструментів переважно застосовуються закріплені механічно змінні багатогранні пластини. Особливістю складених інструментів є те, що геометричні параметри індексованої вставки жорстко поєднані. Оптимізація одного з них може нашкодити іншому. Для визначення зв'язку між геометрією окремих вставок і геометрією леза інструмента використані три системи координат: інструментальна, перехідна та статична. Запропонована математична модель, яка відтворює геометричні та кінематичні взаємозв'язки між геометрією вставки та базовими поверхнями на корпусі інструменту. На графіках залежностей геометрії леза від кутів обертання вставки у фронтальній та профільній площинах знаходять рівні цих графіків. Порівнюючи їх, можна оптимізувати значення всіх геометричних параметрів леза інструмента у статичній системі координат.

Ключові слова: індексована вставка, різальний інструмент, система координат, базові поверхні, геометричні параметри.

Вступ. Широке використання оброблюваних матеріалів з поліпшеними властивостями, підвищені вимоги до якості оброблюваних поверхонь та посилення глобальної конкуренції серед промислових компаній потребують скорочення прямих виробничих витрат [1]. У той же час ринок потребує більшої кількості різновидів продукції, а отже, обладнання та процеси повинні бути більш гнучкими для задоволення потреб та зниження витрат на виготовлення. При цьому значна увага приділяється розробці та виготовленню різального інструменту як елемента технологічного обладнання.

У сучасному інструментальному виробництві переважно застосовуються механічно закріплювані вставки [2, 3]. Форма вставки, правильне встановлення її в корпусі інструменту впливають на якість та продуктивність обробки, стабільність інструменту [4, 5]. Використання вставок дозволяє створювати змінні різальні кромки зі спеціальними властивостями, скорочуючи витрати на відновлення інструменту. У той же час, проектування та виготовлення корпусу таких інструментів має свої складності, пов'язані з необхідністю створення їх 3D-моделей, розробкою програм управління, обробкою та контролем.

Роботи зі створення основних видів інструментів зі вставками проводяться в наукових лабораторіях багатьох компаній [6 – 9]. Вони використовують стандартні та створюють нові форми вставок, досліджують способи кріплення.

Для забезпечення гнучкості виробництва необхідна гнучкість різних конструкцій інструментів. Незважаючи на широке використання сучасних CAD/CAM систем, значна частина інтелектуальних ресурсів все ще витрачається на адаптацію стандартних рішень до конкретної конструкції різального інструменту. На жаль, практично немає наукових праць, спрямованих на розробку CAD/CAM систем спеціального різального інструменту з індексованими вставками. Тому з точки зору підвищення гнучкості сучасного виробництва робота є надзвичайно актуальною.

Огляд літератури. Оптимальна якість оброблюваної поверхні та максимальна продуктивність процесу залежать від правильного вибору параметрів різання. Найважливіший з них – геометрія вставки. На практиці та аналітично (метод скінчених елементів) [5] встановлено, що геометрія індексованої вставки в статичній системі координат впливає на температуру в зоні різання та на зношення самої вставки.

Геометрія леза в статичній системі координат формується на основі попередньо вибраної індексованої вставки. Вставка обертається навколо локальних осей для досягнення бажаного положення в глобальній системі координат, пов'язаної з корпусом інструменту [10]. Запропоновано формули для дискретного геометричного аналізу інструментів з індексованими

вставками [11]. Їх використання дає змогу визначити геометрію змінних вставок у статичній системі координат і тим самим вдосконалити конструкцію інструментів, оскільки геометричні параметри лез впливають на якість обробки та стабільність інструменту [12], звивання та подрібнення стружки [13].

Наскільки відомо автору, досі не існує чітких алгоритмів визначення положень у просторі базових поверхонь на корпусі інструмента, з якими вставка контактує при фіксації. Ні стандарти, ні виробники вставок не дають таких рекомендацій [6 – 8, 14]. Це можна пояснити наявністю великої кількості вимог при впровадженні конкретного процесу різання. Тому визначення положення вставки та її геометрії під час різання залишається важливим завданням [15]. Відомі схеми дії сил при кріпленні вставок: С, S, Р, М – реалізуються різними механізмами. При проектуванні осьового інструменту досить поширеним і надійним [16] кріпильним механізмом є гвинт, який реалізує схему S.

Особливістю використання багатограничних непереточуваних пластин для оснащення складених інструментів є те, що їх геометричні параметри жорстко пов'язані. Оптимізація одного з цих параметрів у статичній системі координат може призвести до недопустимих значень інших.

Мета роботи: Вдосконалення математичного моделювання положень базових поверхонь під вставки на корпусі інструменту для забезпечення необхідної геометрії лез в статичній системі координат.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання: визначити форму робочої частини інструменту, запропонувати механізм фіксації вставки, розробити методику для обчислення положення базових поверхонь у статичній системі координат.

Методологія дослідження. Кожна вставка має свою форму та геометрію у інструментальній системі координат [17]. Щоб оснастити інструмент індексованими вставками, необхідно вибрати з каталогу виробника вставку, геометрія якої наближена до геометрії леза в статичній системі координат. Тому перший крок при побудові складеного інструменту – прив'язати інструментальну систему координат до його корпусу та орієнтувати в ньому індексовану вставку (рис. 1).

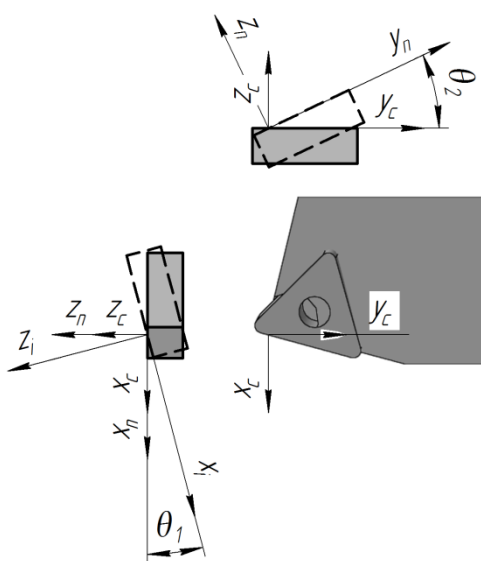


Рис. 1. Системи координат для визначення кутів θ_1 та θ_2

Залежно від умов контакту поверхні деталі і інструменту (точковий чи лінійний) формується корпус інструменту і відповідно розміщується вибрана вставка. Через те, що вставка базується по зовнішнім поверхням, відповідні базові поверхні на корпусі інструменту мають форму вставки.

Потім потрібно повернути індексовану вставку в фронтальній і профільній площинах на кути θ_1 і θ_2 , щоб створити необхідні кути в статичній системі координат.

Для аналітичних досліджень геометрії вставки використовують три системи координат: статичну (ССК) (або глобальну) – $x_c y_c z_c$, перехідну (ПСК) – $x_n y_n z_n$, інструментальну (ІСК) – $x_i y_i z_i$.

У системі $x_i y_i z_i$ задають вихідні параметри вставки, а перехід із цієї системи через $x_n y_n z_n$ до $x_c y_c z_c$ дозволяє визначити положення індексованої вставки після обертання на кути θ_1 і θ_2 , щоб забезпечити необхідну геометрію леза у статичній системі координат. При обертанні на кут θ_1 (див. рис. 1) система $x_i y_i z_i$ обертається, а системи $x_n y_n z_n$ і $x_c y_c z_c$

нерухомі (до обертання всі системи збігаються) [18, 19].

Після повороту у фронтальній площині на кут θ_1 координати в перехідній системі є такими [20]:

$$\begin{cases} x_n = x_i \\ y_n = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1 \\ z_n = z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1 \end{cases} \quad (1)$$

Після повороту в профільній площині на кут θ_2 перехід від $x_n y_n z_n$ до $x_c y_c z_c$ представляється рівняннями

$$\begin{cases} x_c = x_n \cos \theta_2 - z_n \sin \theta_2 \\ y_c = y_{tr} \\ z_c = z_n \cos \theta_2 + y_n \sin \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

Нарешті, після обох поворотів координати точок індексованої вставки у статичній системі координат визначаються підстановкою (1) у (2)

$$\begin{cases} x_c = x_i \cos \theta_2 - (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1) \sin \theta_2 \\ y_c = y_i \cos \theta_1 - z_i \sin \theta_1 \\ z_c = (z_i \cos \theta_1 + y_i \sin \theta_1) \cos \theta_2 + x_i \sin \theta_2 \end{cases} \quad (3)$$

Для визначення статичних кутів λ_c та φ_c проведемо в інструментальній системі координат (рис. 2) одиничний вектор \bar{a}_i , що виходить із деякої точки A різальної кромки і дотичний до різальної кромки [13, 25]. Кут між цим вектором та основною площиною у площині P_{ni} – це кут λ_i . Тоді проекція вектора \bar{a}_i на вісь z_i дорівнює $\bar{c} = -\bar{k} \sin \lambda_i$, а проекція його на площину P_{vi} дорівнює $\bar{f} = \bar{a}_i \cos \lambda_i$. Проекції вектора \bar{f} (у площині P_{vi}) на осі x_i та y_i , це $\bar{p} = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i$ та $-\bar{r} = \bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i$ відповідно (бо кут між ним і віссю y_i це кут φ_i).

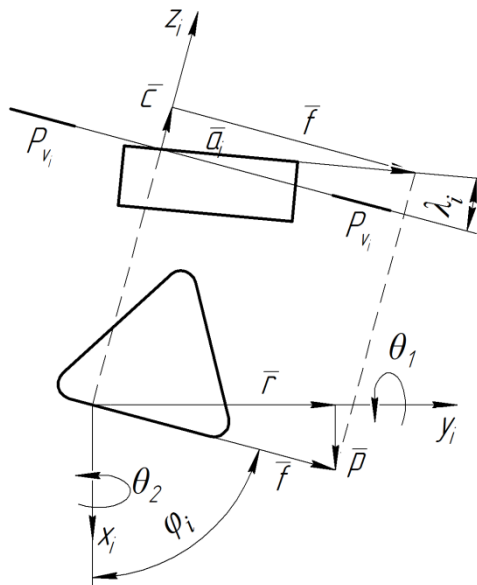


Рис. 2. Визначення координат вектора, дотичного до головної різальної кромки в ІСК

Тоді $\bar{f} + \bar{k} \sin \lambda_i = \bar{a}_i$. Звідси $\bar{a}_i = \bar{i} \cos \lambda_i \sin \varphi_i + (-\bar{j} \cos \lambda_i \cos \varphi_i) - \bar{k} \sin \lambda_i$.

Позначимо координати цього вектора в ІСК як $x_1 = \cos \lambda_i \sin \varphi_i$, $y_1 = -\cos \lambda_i \cos \varphi_i$, $z_1 = -\sin \lambda_i$.

Підставляємо координати вектора \bar{a}_i в систему (3) і отримуємо його координати у статичній системі координат:

$$\begin{cases} x_{1c} = (\cos \lambda_i \sin \varphi_i) \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (-\sin \lambda_i \cos \theta_1 - (\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \sin \theta_1) \\ y_{1c} = (-\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \cos \theta_1 + \sin \lambda_i \sin \theta_1 \\ z_{1c} = \cos \theta_2 (-\sin \lambda_i \cos \theta_1 - (\cos \lambda_i \cos \varphi_i) \sin \theta_1) + (\cos \lambda_i \sin \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases} \quad (4)$$

Якщо вектор $\bar{a}_c = \bar{i}x_{1c} + \bar{j}y_{1c} + \bar{k}z_{1c}$, то тоді:

$$\varphi_c = \tan^{-1}(x_{1c}/y_{1c}), \quad (5)$$

$$\lambda_c = \tan^{-1}\left(z_{1c}/\sqrt{(x_{1c})^2 + (y_{1c})^2}\right). \quad (6)$$

Аналогічно отримуємо формули для визначення переднього та заднього кутів у статичній системі координат. Передній кут дорівнює:

$$\gamma_c = \tan^{-1} \left(z_{2c} / (\sqrt{(x_{2c})^2 + (y_{2c})^2}) \right). \quad (7)$$

Координати одиничного вектора вздовж лінії перетину передньої поверхні та головної січної площини в статичній системі координат є такими:

$$\begin{cases} x_{2c} = (-\cos \gamma_i \cos \varphi_i) \cos \theta_2 - \sin \theta_2 (-\sin \gamma_i \cos \theta_1 + (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \\ y_{2c} = (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \cos \theta_1 + \sin \gamma_i \sin \theta_1 \\ z_{2c} = \cos \theta_2 (-\sin \gamma_i \cos \theta_1 + (-\cos \gamma_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) + (-\cos \gamma_i \cos \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases}. \quad (8)$$

Задній кут визначається як:

$$\alpha_c = \tan^{-1} \left((\sqrt{(x_{3c})^2 + (y_{3c})^2}) / z_{3c} \right). \quad (9)$$

Координати одиничного вектора вздовж лінії перетину задньої поверхні та головної січної площини в статичній системі координат:

$$\begin{cases} x_{3c} = (-\sin \alpha_i \cos \varphi_i) \cos \theta_2 - (-\cos \alpha_i \cos \theta_1 + (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \sin \theta_2 \\ y_{3c} = (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \cos \theta_1 + \cos \alpha_i \sin \theta_1 \\ z_{3c} = (-\cos \alpha_i \cos \theta_1 + (-\sin \alpha_i \sin \varphi_i) \sin \theta_1) \cos \theta_2 + (-\sin \alpha_i \cos \varphi_i) \sin \theta_2 \end{cases}. \quad (10)$$

Тому вплив кутів повороту θ_1 та θ_2 на кінцеве значення статичних кутів обраної індексованої вставки (з відомою геометрією в інструментальній системі координат) можна проаналізувати за формулами (5), (6), (7), (9) (рис. 3).

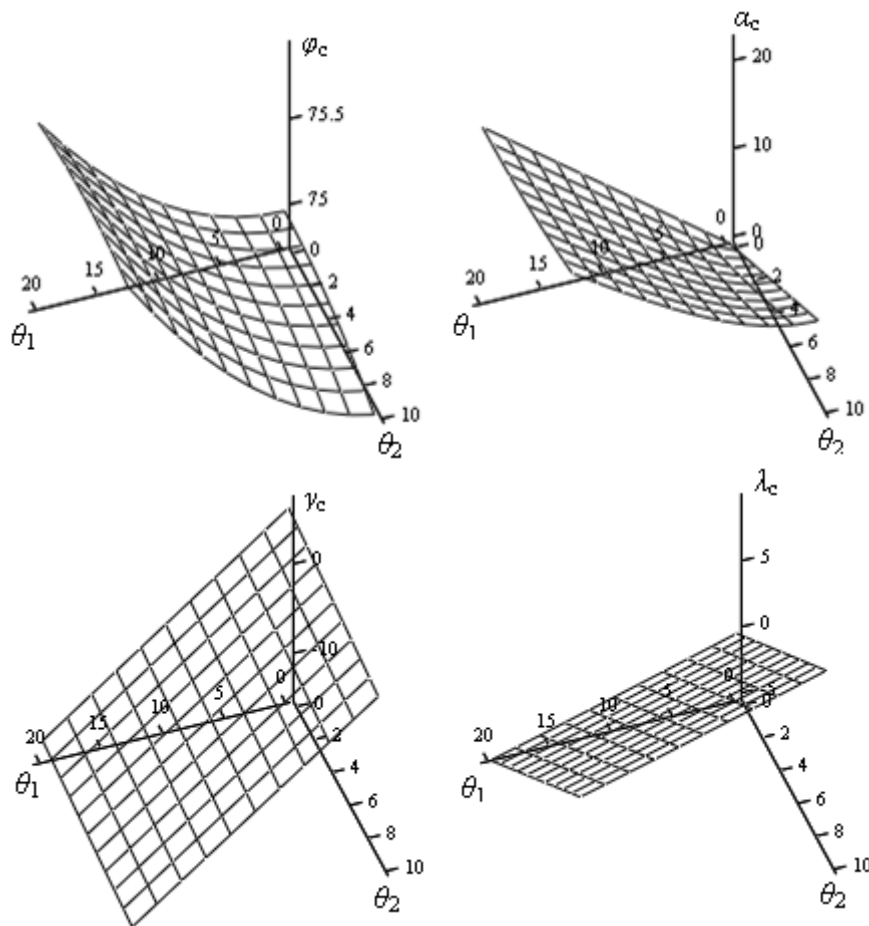


Рис. 3. Графіки залежностей геометричних кутів леза від кутів встановлення багатогранної непереточуваної пластини на корпусі

Висновки. Запропонована у статті методика дозволяє визначити положення базових поверхонь на корпусі інструменту для розміщення вибраної вставки. Це забезпечує оптимізацію геометричних параметрів його лез у статичній системі координат. Відповідно до графіків залежності кожного з кутів геометрії леза від кутів повороту вставки у фронтальній та

профільній площинах (відповідно θ_1 та θ_2) знаходять лінії рівнів цих графіків. Зважаючи на положення цих ліній можна встановити найбільш сприятливі значення для усіх геометричних параметрів вставки в статичній системі координат. Таким чином, використовуючи математичну модель розміщення змінних багатограних пластин на корпусі різального інструмента (формули (5 – 7, 9)) можна досягати максимального наближення до оптимальних значень геометричних параметрів лез при проектуванні складеного інструмента з використанням індексованих вставок.

Інформаційні джерела

1. Astakhov V. P. Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination / V.P. Astakhov, S.V. Shvets // International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, Vol. 10, Issue 2, 2020. – Pp. 1 – 17.
2. Schneider G. Cutting Tool Applicatins, 2002. Available from: <http://www.opensourcemachinetools.org/archive-manuals/Cutting-Tool-Applications.pdf>.
3. Kumar P. Influence of Different Grades of CBN Inserts on Cutting Force and Surface Roughness of AISI H13 Die Tool Steel during Hard Turning Operation/ P. Kumar, S. R. Chauhan, C. I. Pruncu, M. K. Gupta, D. Yu. Pimenov, M. Mia, H. S. Gill // Materials, Vol. 12(1), 2019. – Pp. 45 – 56.
4. Stephenson, D. A. Metal Cutting Theory and Practice, 3th ed./ D. A. Stephenson, J. S. Agapiou. – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2016. – 232 p.
5. Zheng, M. (2015) Research on the cutting heat and wear of indexable inserts with different transition surfaces/ M. Zheng, T. Gang, B. Yao, F. Li, Y. Song // Advanced Materials Research, Vol. 468 – 471, 2015. – Pp. 1290. – 1293.
6. Iscar. Coplete Machning Solution. Non-Rotating Tool Lines, 2019. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/iscar-tools/complete-machining-solutions-non-rotating-tool-lines/5692-721849.html>.
7. Kennametal. Master Cataloh. Volume one – Turning, 2018. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/kennametal/master-catalog-2018-volume-one-turning-tools/7354-844711.html>.
8. Walter. Perform line - economic, reliable, highest quality, 2019. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=LvrJKbV6Bt8>.
9. MATERIALS, M. Coated Carbide (CVD) Selection Guide, 2019. Available from: http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_turning_tools/tec_turning_insert/tec_turning_grades/tec_turning_diacoat_cvd.
10. Euan I. G. Modeling Static and Dynamic Cutting Forces and Vibrations for Inserted Ceramic Milling Tools/ I. G. Euan, E. Ozturk, N.D. Sims // 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, 2013. – Pp. 564 – 569.
- 11.11. Петрушин С. И. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами / С. И. Петрушин, Р. Х. Губайдулина, А. А. Баканов, А. В. Махов // Вестник машиностроения, № 6, 2009. – С. 64 – 70.
12. Legrand C. A geometrical and mechanistic generalized model for complex shape broaching of super alloy / C. Legrand, G. Fromentin, G. Poulachon, R. Chatain, M. Rancic // Procedia CIRP, Vol. 82, 2019. – Pp. 461 – 466.
13. Emel'yanov S. G. Chip curling in metal cutting / S. G. Emel'yanov, E. I. Yatsun, A. I. Remnev, S. V. Shvets // Russian Engineering Research, Vol. 31(7), 2011. – Pp. 679 – 683.
14. Kyocera. Turning Indexable Inserts, 2015. Available from: <https://asia.kyocera.com/products/cuttingtools/wp-content/uploads/2015/02/B-Turning-Indexable.pdf>.
15. Campocasso S. A generalised geometrical model of turning operations for cutting force modelling using edge discretization / S. Campocasso, J-P Costesa, G. Fromentina, S. Bissey-Bretonb, G. Poulachona // Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, Issue 21, 2015. – Pp. 6612 – 6630.
16. Beno J. Operation Safety and Performance of Milling Cutters with Shank Style Holders of Tool Inserts / J. Beno, I. Mankova, M. Vrabel, B. Karpuschewski, T. Emmer, K. Schmidt // Procedia Engineering, Vol. 48, 2012. . – Pp. 15 – 23.
17. ДСТУ 2249–93. Процес різання. Терміни, визначення та позначення.
18. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин – Киев: Высшая школа, 1977. 192 с.

19. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущего инструмента / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров – Москва: Машгиз, 1963. – 952 с.

20. Korn, G. A. Mathematical handbook for scientists and engineers. Definitions, theorems, and formulas for reference and review / G. A. Korn, T. M. Korn. – General Publishing Company, Ltd., Toronto, 2000. – 1130 pp.

Швец С. В., к.т.н., Швец У.С., к.ф.-м.н.
Сумский государственный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА КОРПУСЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В статье описан способ определения положения базовых поверхностей на корпусе инструмента для обеспечения необходимых значений углов выбранной сменной многогранной пластины (индексированной вставки – indexed insert) в статической системе координат. Анализ публикаций показал, что в современном производстве инструментов в основном применяются закрепленные механически сменные многогранные пластины. Особенностью сборных инструментов является то, что геометрические параметры индексированной вставки жестко взаимосвязаны. Оптимизация одного из них может навредить другому. Для определения связи между геометрией отдельных вставок и геометрией лезвия инструмента использованы три системы координат: инструментальная, переходная и статическая. Предложена математическая модель, воспроизводящая геометрические и кинематические взаимосвязи между геометрией вставки и базовыми поверхностями на корпусе инструмента. На графиках зависимости геометрии лезвия от углов вращения вставки во фронтальной и профильной плоскостях находят уровни этих графиков. Сравнивая их, можно оптимизировать значения всех геометрических параметров лезвия инструмента в статической системе координат.

Ключевые слова: индексированная вставка, режущий инструмент, система координат, базовые поверхности, геометрические параметры.

Shvets S.V., Ph.D., Shvets U.S., Ph.D.
Sumy State University

MODELING OF POSITIONS OF REPLACEABLE POLYHEDRAL PLATES ON THE CASE OF THE CUTTING TOOL

The article describes a method for determining the position of the base surfaces on the tool body to ensure the required angles of the selected replaceable polyhedral plate (indexed insert) in a static coordinate system. Analysis of publications showed that in modern tool production, mechanically fixed, replaceable polyhedral plates are mainly used. A feature of compound tools is that the geometric parameters of the indexed insert are rigidly interdependent. Optimizing one of them can hurt the other. To determine the relationship between the geometry of individual inserts and the geometry of the tool blade, three coordinate systems are used: instrumental, transitional and static. A mathematical model is proposed that reproduces the geometric and kinematic relationships between the insert geometry and the base surfaces on the tool body. On the graphs of the dependence of the blade geometry on the angles of rotation of the insert in the frontal and profile planes, the levels of these graphs are found. By comparing them, it is possible to optimize the values of all geometric parameters of the tool blade in a static coordinate system.

Key words: indexed insert, cutting tool, coordinate system, datum surfaces, geometric parameters.

УДК 621.923.4:621.793.74

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-24

А.В. Беспалова¹, О.А.Файзуліна¹, О.І. Книш¹, О.П.Дашковська¹, Т.В. Чумаченко²

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Одеський національний університет «Одеська політехніка»

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МІКРОСТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ РОЗРІЗАННІ КАМЕНІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ

Розрізання каменю для будівельних робіт здійснюється дисковими алмазними кругами швидкість обертання, яких, а, отже, і швидкість різання складає 35-50 м/с. Зважаючи на високу інтенсивність процесу різання і інтенсивного мікростружкоутворення, процес розрізання каменю супроводжується значним пилоутворенням, що може бути як шкідливим, так і небезпечним фактором при роботі.

Швидкість седиментації частинок значно залежить від форми: чим вище сферичність, тим вище швидкість седиментації. Однакову швидкість осідання мають частинки, отримані при розрізанні базальту і бетону. Значно вища швидкість осідання пилу з граніту. Розміри стружок при розрізанні знаходяться в діапазоні 0,4...6 мкм. Визначено концентрацію пилу у робочому просторі у розмірі $4,8 \cdot 10^8$ шт/м³. Доведено, що при виконанні робіт на висоті близько 2 м (200 см) за час робочого циклу (приблизно 3 хв) пил залишиться на висоті близько 1,5 м, тобто практично в робочій зоні.

Ключові слова: *Розрізання каменю, мікростружкоутворення, зернистість відрізного круга, швидкість осідання мікрочастинок, концентрація пилу.*

Постановка проблеми. Розрізання каменю для будівельних робіт здійснюється дисковими алмазними кругами швидкість обертання, яких, а, отже, і швидкість різання складає 35-50 м/с. Зважаючи на високу інтенсивність процесу різання і інтенсивного мікростружкоутворення, процес розрізання каменю супроводжується значним пилоутворенням, що може бути як шкідливим, так і небезпечним фактором при роботі.

Найбільшу небезпеку становлять частки стружки, розміри яких становлять 5 мкм і менше. Ці частинки мають найбільший патогенний вплив на дихальну систему людського організму. Крім того, час осідання цих частинок вимірюється годинами. Таким чином, навіть після припинення роботи небезпека впливу пилу на людський організм зберігається. Незначний час вдихання цих частинок може привести людину до інвалідності та смерті.

Механізм утворення пилу визначає її дисперсний склад, тобто розмір пилинок. Структура пилу, тобто форма пилинок, залежить і від природи і від механізму утворення пилу. За структурою пил може бути аморфним (порошинки круглої форми), кристалічним (порошинки з гострими гранями), волокнистим (порошинки подовженої форми), пластинчастим (порошинки у вигляді шаруватих пластинок) та ін.

При подрібненні твердої речовини частинки, що утворюються, отримують ту чи іншу кількість електрики внаслідок часткового переходу механічної енергії в електричну, крім того, пилинки отримують електричний заряд, адсорбуючи на собі іони з повітряного середовища. Таким чином, пил, що знаходиться в повітрі, в тій чи іншій мірі несе на собі електричний заряд. Ступінь електрзарядженості робить істотний вплив на поведінку пилу в повітрі. Електрзаряджені частинки з протилежним знаком з'єднуються між собою, утворюючи більші частки, за рахунок чого швидше осідають; частинки з однаковим зарядом, навпаки, відштовхуються один від одного, що підсилює їх рух в повітрі і уповільнює осадження. Дослідження показують, що високодисперсний пил більшою мірою схильний до електричних розрядів. Електрзарядженості сприяє також нагрівання пилу. Підвищена вологість повітря або самого пилу знижує її електрзарядженість.

Високодисперсний пил внаслідок електрзарядженості має активну поверхню, тому на ньому адсорбуються гази та інші дрібні частинки, що знаходяться в повітрі. Чим менше пилові частинки, тим більше їх активність. Гази, огортаючи пилову частинку, сприяють довшому витанні її в повітрі, тобто адсорбція на пилових частинках газів уповільнює осадження пилу.

При значній запиленості повітря високодисперсним пилом електричні заряди пилових частинок підсумовуються і, досягнувши певного потенціалу, утворюють електричні розряди – вибухи.

Найчастіше такі вибухи пилу виникають при наявності вогню або сильно нагрітого предмету в надмірно запиленій атмосфері, так як при підвищенні температури різко збільшується зарядженість пилових частинок, швидше і з більшою силою відбувається електричний розряд.

Аналіз літературних даних. У роботах, присвячених розрізанню каменю, практично не розглядається питання генерації мікростружки. В основному розглядаються питання займання пилу, поширення полум'я в пиловій хмарі, довговічність інструментів при розрізанні і інші питання.

Так в роботах [1] розглядаються питання займання пилу. Це важливе питання для забезпечення безпеки робіт, але не розглядається механізм генерації пилу.

В роботі [2] розглядаються питання зносу сегментів алмазних пилок при розрізанні граніту і мармуру. Питання генерації пилу не розглядаються.

У дослідженнях [3, 4] вплив умов різання на силу різання і енергію різання пов'язано з формою ідеалізованої товщини стружки. Ці ефекти також пов'язані зі зносом алмазного інструменту. Емпіричні моделі, розроблені в цій статті, можуть бути використані для прогнозування зміни енергії різання.

В роботі [5] розглядається вплив сили різання, отриманої в випробуваннях з одним гострим твердосплавним ріжучим інструментом і шліфувальним алмазним інструментом. Модель може застосовуватися для імітації сил різання сегментів. Питання мікростружкоутворення не розглядаються.

У роботі [6] також розглядаються теоретичні та експериментальні питання зносу металевих алмазних інструментів при різанні каменю. Питання генерації пилу не розглядалися.

У роботі [7] процес утворення і видалення стружки був визначений кількісно з метою допомогти як виробнику інструменту, так і працівнику в оптимізації складу інструменту і параметрів процесу різання, як стандартних виробів, таких як плитка, плити, бордюри, так і дизайнерських форм. Питання важливе для забезпечення безпечних умов праці, однак процес мікростружкоутворення не розглянутий.

У роботах [8] розглядалися принципи абразивної обробки каменю за допомогою алмазного млину. Питання важливе з точки зору енергоспоживання, однак механізм мікростружкоутворення не розглянутий.

В роботах [9, 10] досліджується процес розрізання натурального каменю в кар'єрах обладнанням з ланцюговими пилами, оснащеними алмазними зубами. Питання мікростружкоутворення при розрізанні не розглядається.

В роботі [11] досліджується процес поширення полум'я в пиловому середовищі. Незважаючи на важливість питання для охорони праці та пожежної безпеки, питання мікростружкоутворення в цій роботі не розглядається.

В роботі [12] досліджується питання видалення пилових дисперсій з кар'єрів природного каменю. Питання важливе для забезпечення безпечних умов праці, однак процес мікростружкоутворення не розглянутий.

Так, роботах [13] є математичні моделі осідання пилу, які враховують різні сили, які діють на порошок під час її витанні в повітрі. Однак розрахунки відносяться до пилу, що викидається з димових труб значної висоти 40 ... 50 м. Таким чином, мова йде скоріше про частки сажі. Не враховується форма частинок, відомо, що основна форма частинок – пластівчаста. Не розглядається також мінеральний склад пилу і залежність швидкості седиментації від цього складу.

В роботі [14] є математичні моделі седиментації пилу в виробничих цехах будівельних підприємств, проте без джерел генерації пилу. Висота, з якої осідає пил, конкретно не вказана, проте автори розглядають форму частинок, хоча основні розрахунки проводяться для пилок сферичної форми. Розглянуто один вид матеріалу – мінеральна вата. Патогенні властивості цього виду пилу дуже високі, проте пил іншого мінерального складу було проігноровано.

Так, роботі [15] є математичні моделі осідання пилу, які враховують різні сили, які діють на порошок під час її витанні в повітрі. Однак розрахунки відносяться до пилу, що викидається з димових труб значної висоти 40 ... 50 м. Таким чином, мова йде скоріше про частки сажі. Не враховується форма частинок, відомо, що основна форма частинок – пластівчаста. Не розглядається також мінеральний склад пилу і залежність швидкості седиментації від цього складу.

Оскільки технологічний процес розрізання кам'яних будівельних матеріалів є широко поширеним, необхідно ретельне дослідження цього процесу з метою підвищення його ефективності та безпеки.

Аналітичні дослідження. Схема утворення стружки, виходячи з форми абразивного ріжучого зерна, наведена на рис. 1.

Для визначення товщини стружки ріжучим зерном необхідно знати наступне:

– радіус заокруглення вершини зерна (залежить від номера зернистості круга),
– фактичну відстань між ріжучими зернами (в роботі різання беруть участь тільки 10 ... 12% зерен [16]).

- питому кількість ріжучих зерен в одиниці поверхні круга z_{ϕ} ,
- середню відстань між ріжучими зернами l_{ϕ} ,
- середню товщину зрізу кожним зерном h .

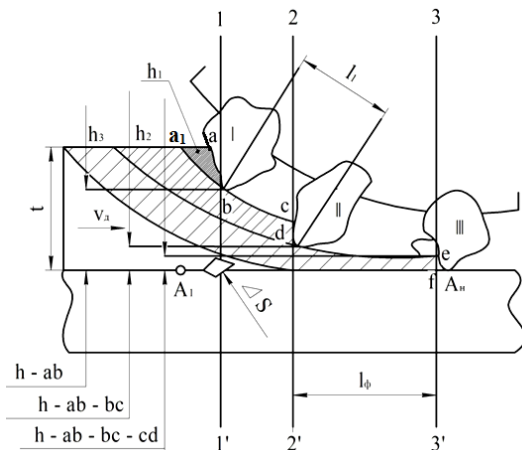


Рис. 1. Схема утворення стружки (пилинка) при різанні каменю:
а₁ - траєкторії руху ріжучих зерен; h₁, h₂, h₃ - товщини стружок, l_φ - фактична відстань між ріжучими зернами, t - глибина різання при шліфуванні

Ці величини визначалися за методикою, яка пов'язана з використанням мікротермопар діаметром електрода 10 ... 20 мкм [17].

Знаючи швидкість розгортки запам'ятовуючого осцилографа, можна визначити кількість ріжучих зерен в дузі контакту круга з каменем, який розрізається, відстань між ріжучими зернами, а також середню товщину стружки, що зрізається кожним зерном.

Товщина стружки при розрізанні, може бути прийнята за даними джерел [17] оскільки в наших дослідженнях вони практично підтверджуються. Ця величина може бути описана виразом

$$h = \frac{20 \cdot t \cdot v_d \cdot l_{\phi p}}{v_{kp} \cdot \sqrt{D \cdot t}}, \quad (1)$$

де v_d – хвилинна подача; v_{kp} – швидкість обертання круга; t – подача на оборот круга; $l_{\phi p}$ – фактична відстань між ріжучими зернами в крузі; D – діаметр круга.

Кількість стружок (порошинок), що утворюються в 1 с, очевидно, складе

$$n_{y\partial} = v_{kp} \cdot S \cdot z, \quad (2)$$

де $n_{y\partial}$ – кількість стружок (порошинок), які утворюються за 1 с; z – питома кількість ріжучих зерен в одиниці поверхні шліфувального круга, дорівнює за результатами наших вимірів

$$z = \frac{0.7}{L_{\phi}^2 \cdot R_z^{0.25}} \quad (3)$$

$$L_{\phi} = 3 \cdot 10^{-4} \cdot Nz^{0.65} N_{ctr}^{0.083} \quad (4)$$

$$R_z = 10^{-6} \cdot Nz^{0.85} \cdot K_z \quad (5)$$

де Nz – номер зернистості круга, приведений до зернистості абразивних кругів; N_{ctr} – номер структури круга; S – ширина ріжучого круга; L_{ϕ} – фактична відстань між ріжучими зернами; R_z – умовний радіус заокруглення вершини ріжучого зерну; k_z – коефіцієнт матеріалу зерна рівний 1 для електрокорунду, 0,8 для кубічного нітриду бору (КНБ) і 0,7 для синтетичного алмазу.

Питома кількість пилинок, що утворюються при розрізанні представлена на рис. 2 [18].

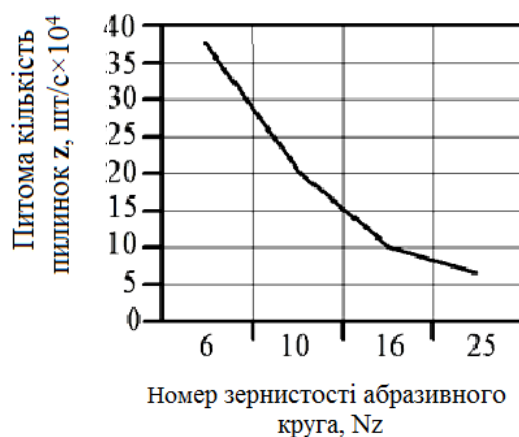


Рис. 2. Питома кількість пилинок при розрізанні.

Хвилинна концентрація пилу при різанні каменя, (при розміру робочої зони 0,5·0,5·0,5 м = 0,125 м³) може бути в межах $1,68 \cdot 10^8 \dots 0,28 \cdot 10^8$ шт/м³.

На розмір часток мікростружки найбільший вплив має швидкість обертання круга $v_{кр}$ і подача на обертання круга t . Аналіз формули (1) показує, що розмір частинок обернено пропорційний швидкості круга, тобто при збільшенні швидкості круга їх розмір знижується. Що стосується подачі на оборот круга, то розмір частинки прямо пропорційний $t^{0,5}$. Таким чином, оскільки зі швидкостями менше 35 м/с розрізання не виконується, то можна очікувати зменшення розміру пилинок при переході до швидкісного розрізання зі швидкостями близько 50 м/с. Таким чином, діапазон розмірів, показаний на рис. 3.7 зміниться. Діапазон 0,5 ... 3,5 мкм перетвориться в діапазон 0,35...2,1 мкм.

Що стосується подачі на обертання круга, то при розрізанні "в суху" величини більше 0,03 мм/об практично не використовують. Тобто, при використанні цієї величини можна отримати діапазон розмірів 0,86 ... 6 мкм.

Умовно розміри абразивних зерен в діапазоні розмірів, які наведені в стандартах можна розбити на 3 фракції – середню, дрібну і крупну. Це означає, що при одному номері зернистості в крузі є зерна різних розмірів. Відповідно, більші зерна більше виступають зі зв'язки, і значить, знімають більшу стружку, ніж дрібні. З великою ймовірністю можна стверджувати, що розміри стружок (порошинок) також будуть підкорятися цьому закону.

Таким чином, при шліфуванні утворюються саме такі розміри частинок стружки, які володіють найбільшим патогенним впливом на організм людини.

Для більш точного визначення розміру частинок необхідно врахувати імовірнісний розподіл розмірів абразивних зерен, з яких складається круг [18]. Розподіл обсягів зерен підпорядковується закону нормального розподілу.

Зазвичай розмір основної фракції становить 45%, тоді дрібна і крупна фракція становлять по 27,5%. Розміри крупної і дрібної фракцій відрізняються від середньої величини на 11,5%. Якщо ці закономірності застосувати до порошинок, то отримаємо такі значення (табл. 1).

Таблиця 1 Розміри фракцій мікростружки, що утворюються при розрізанні, мкм

v_d м/с Nz	0,083	0,166	0,249	0,332
6	0,4; 0,45; 0,5	0,448; 0,50; 0,56	0,58; 0,65; 0,724	0,81; 0,9; 1,0
10	0,67; 0,75; 0,84	0,89; 1,0; 1,15	1,25; 1,4; 1,56	1,52; 1,7; 1,9
16	0,98; 1,1; 1,22	1,34; 1,5; 1,67	1,88; 2,1; 2,34	2,06; 2,3; 2,56
25	1,34; 1,5; 1,67	1,79; 2,0; 2,23	2,33; 2,6; 2,9	3,22; 3,6; 4,0

Як видно з табл. 1, розміри стружки будуть такими, які мають найбільшою патогенною дією на людину, і швидкість осідання їх в повітрі складе кілька годин [19].

Дослідження закономірностей зміни концентрації стружки.

Концентрація стружки в робочому просторі не може бути охарактеризована тільки хвилинною концентрацією. Процес розрізання тривалий, зазвичай, кілька хвилин. Якщо

розділити стружку на хвилинні порції, то очевидно, що після того, як надійшла перша порція, вона деякий час частково знаходиться в повітрі. Під час її перебування в повітрі в робочий простір надходить друга порція, а потім третя і т.д. Таким чином, чим більш тривалий час осідання стружки, тим буде вище її концентрація в робочому просторі.

Час осідання стружки залежить від багатьох факторів – висота, на якій відбувається розрізання (при прорізуванні віконних прорізів ця висота може бути близько трьох метрів), розмір частинок, форма, стан навколишнього середовища, матеріал частинок.

Слід зазначити, що при розрізанні металевих предметів відділення стружки-пилу відбувається в результаті пластично-зсувної деформації [19]. У цьому випадку форма стружки-порошинки наближається до форми “коми”, що можна врахувати в практичних розрахунках. Однак, при розрізанні крихкого матеріалу, з якого виготовлені кам’яні будівельні конструкції, утворення стружки-порошинки відбувається в результаті крихкого руйнування, при якому її форма довільна, що природно позначається на швидкості її осідання (седиментації).

Будівельні конструкції можуть складатися з різномірних матеріалів – різної щільності і твердості. Частинок різного хімічного складу, навіть при однакових розмірах і формі матимуть різну швидкість седиментації, а, отже, будуть осідати за різний час.

Неважко побачити, що при розрізанні стружка з-під круга вилітає буквально струменем по дотичній до круга. Напрямок може бути довільним в залежності від позиції, в якій виконується робота, в тому числі буде підніматися і вгору, що буде додавати висоту викиду пилової хмари.

Крім того, необхідно враховувати стан навколишнього середовища – температуру і вологість, що буде впливати на щільність цього середовища і на сили Архімеда, які діють на частинку.

Всі ці фактори повинні бути враховані, як в теоретичних розрахунках, так і в експериментах, якщо останні будуть виконуватися.

Концентрація дисперсних частинок також є однією з найважливіших характеристик, від якої залежить поведінка дисперсної системи в різних фізико-хімічних процесах.

В кожний момент часу $\Delta t = 1$ с. в робочу зону надходить $4.6 \cdot 10^5 \dots 2.8 \cdot 10^6$ частинок різного діаметра [19]. При розрахунках отримано, що хвилинна концентрація стружки при різанні каменю (при розмірах робочої зони $0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5$ м = $0,125$ м³) знаходиться в межах $0,28 \cdot 10^8 \dots 1.68 \cdot 10^8$ шт./м³, тобто за час розрізання 3 хв. отримаємо концентрацію $0,84 \cdot 10^8 \dots 4,8 \cdot 10^8$ шт./м³. Діапазон розмірів стружки складає 0,35–6 мкм.

Результати розрахунків показують, що швидкість седиментації частинок значно залежить від форми: чим вище сферичність, тим вище швидкість седиментації.

Очевидно, частки неправильної форми відчувають сильніший опір середовища і великі архімедові сили, які в деякій мірі, компенсують силу тяжіння, під дією якої відбувається “падіння” частинки стружки. Температурний стан навколишнього середовища мало впливає на швидкість осідання, у всякому разі в прийнятному діапазоні температур, при яких може відбуватися робота. Це можна пояснити незначною зміною щільності повітря, в результаті чого сила опору середовища і архімедова сила змінюються незначно.

Швидкість осідання мікрочастинок, які генеруються при розрізанні найбільш поширених будівельних кам’яних матеріалів, також різниться незначно. Так, практично однакову швидкість осідання мають частинки стружки, отримані при розрізанні базальту і бетону. Значно вища швидкість осідання частинки з граніту. Це пояснюється тим, що структура цих матеріалів крихка, в результаті чого частинки мають схожу форму, і на швидкість осідання впливає тільки щільність, яка відрізняється незначно. Що стосується частинок стружки при розрізанні сталевих арматур, то тут явно видно вплив більш високої щільності сталі. Крім того, стружка, утворена в результаті пластичної деформації, найімовірніше має більш “обтічну” форму і відчуває менший опір повітря. Ця обставина потребує додаткового дослідження.

Швидкість осідання частинок згенерованого пилу, з огляду на реальну форму, при деформації сколювання ($\lambda = 5 \dots 7$), становить для частинок розміром 6 мкм, приблизно 600 ... 700 см/год або 10 ... 11 см/хв. Це означає, що при виконанні робіт на висоті близько 2 м (200 см) за час робочого циклу (приблизно 3 хв) пил залишиться на висоті близько 1,5 м, тобто практично залишиться в робочій зоні. Це дає підставу стверджувати про високу концентрацію стружки-пилу (як зазначено, близько $4,8 \cdot 10^8$ шт./м³). Слід зазначити, що в розрахунок бралися частинки розміром 4 ... 6 мкм. З урахуванням часток менших розмірів ця концентрація буде трохи вища.

Перевагою аналітичного дослідження можна вважати те, що математичні моделі дають можливість оцінювати генерацію мікростружки при розрізанні різних матеріалів, наприклад, керамічної плитки з оксидів алюмінію і цирконію.

Висновки. Час осідання пилової суспензії залежно від матеріалу і розміру частинок знаходиться в межах від декількох хвилин до декількох годин, що може створювати великі концентрації пилу в робочому просторі під час роботи в межах $1,68 \cdot 10^8 \dots 0,28 \cdot 10^8$ шт/м³. Розміри стружок при розрізанні знаходяться в діапазоні 0,4...6 мкм. Розміри частинок знаходяться в діапазоні найбільшого патогенного впливу на людину.

Знання закономірностей утворення мікростружки, включаючи розміри частинок, концентрацію, хімічний склад і швидкість осідання, дає можливість знизити забруднення повітря застосуванням пиловидалення шляхом зволоження робочої зони охолоджуючим середовищем, зміни технологічного режиму роботи відрізних дисків, знизити концентрацію крупно дисперсного пилу за допомогою промислових пилососів.

Література

1. Shidlovskiy A.A. Fundamentals of pyrotechnics. Mechanical Engineering, Moscow, 2012. P. 145-155.
2. Qin Sun, Jinsheng Zhang, Zhi Wang, Heng Zhang, Jinyan Fang. Segment wear characteristics of diamond frame saw when cutting different granite types. *Diamond and Related Materials*, 2016. Vol. 68. P. 143-151.
3. Asche J., Tönshoff H. K., Friemuth T., Cutting Principles, wear and applications of diamond tools in the stone and civil engineering industry. *Proceedings of Diamond Tools Conference*. 1999. P. 151-157
4. Jerro H. D., Pang S. S., Yang C., Mirshams R. A. Kinematics analysis of the chipping process using the circular diamond saw blade. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 1999. Vol. 121(2). P. 257-264.
5. Wang C. Y., Clausen R. Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2002. Vol. 42, № 9, P. 1045-1054.
6. Ersoy A., Buyuksagic S., Atici U. Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks. *Wear*. 2005. Vol. 258, № 9, P. 1422-1436.
7. Turchetta S. Cutting force in stone machining by diamond disk *Advances in Materials Science and Engineering*. 2010. <https://www.hindawi.com/journals/amse/2010/631437/>. (дата звернення 15.03.21)
8. Polini W, Turchetta S. Force and specific energy in stone cutting by diamond mill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2004. Vol. 44. P. 1189-1196.
9. Zhang H., Zhang J., Chen M., An Q. The effect of operational parameters on diamond tools of frame sawing system: Wear characteristics and optimization in stone processing. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, November 2019. Vol. 84.
10. Russell A. Ogle. Confined unsteady dust flame propagation. *Dust Explosion Dynamics*, 1st Edition. Butterworth-Heinemann, 2016. 686 p.
11. Sairanen M., Rinne M., Selonen O.. A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017. P. 1-25.
12. Yurdakul M. The effect of cutting parameters on the performance of the multi-disc block cutter. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Vol. 76. P. 104-111.
13. Azarov V.N., Bessarab O.I., Kabaev O.V. (2010). Theoretical studies of the sedimentation rate of fine dust in the air of working rooms of engineering and construction industry enterprises. *Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного ун-та*. Волгоград, 2010. № 17(36). С. 102-105.
14. Михайловская, Ю. С., Маринин Н.А. Об оценке дисперсного состава пыли на предприятиях, использующих цемент. *Проблемы охраны производственной и окружающей среды: материалы междунар. науч.-техн. конф.*, Волгоград, 2013. № 5. С. 69-72.
15. Азаров, В.Н. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в воздушной среде. *Вестник ВолгГАСУ. Сер. Стр-во и архитектура*. Волгоград, 2011. №25(44). С. 402-407.

16. Аль-Аджейлат С.А., Чумаченко Т.В., Лебедев В.Г. Фактическое расстояние между режущими зернами и удельное число режущих зерен в единице поверхности эльборового круга, радиусы закругления зерен из КНБ и средняя величина стружки, снимаемая режущим зерном. *Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы науч.-техн. конф.* г. Одесса – Киев, 9-10 сентября 2010 г, Одесса – Киев, 2010. С. 6-8.

17. Аль-Аджейлат С.А., Лебедев В.Г., Усов А.В. Аналитическое определение сил и температур резания единичным эльборовым зерном. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка.* Харків, 2009. № 81. С. 263-270.

18. Besimalova A., Lebedev V. Investigation of the formation process of hazardous and harmful production factors when cutting a stone for construction works. *Physics and Engineering EUREKA.* 2017. No 5. P. 30-38.

19. Беспалова А.В. Методика исследования пылеобразования в процессах резки каменных материалов. *Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури.* Одеса, 2019. № 75. С. 132-139.

А.В. Беспалова, О.А.Файзулина, А.И. Книш, О.П.Дашковская, Т.В. Чумаченко
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
Одесский национальный университет «Одесская политехника»

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МИКРОСТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ РАЗРЕЗАНИИ КАМНЕЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Разрезание камня для строительных работ осуществляется дисковыми алмазными кругами скорость вращения, которых, следовательно, и скорость резки составляет 35-50 м/с. Ввиду высокой интенсивности процесса резания и интенсивного микростружкообразования процесс разрезания камня сопровождается значительным пылеобразованием, что может быть как вредным, так и опасным фактором при работе.

Скорость седиментации частиц существенно зависит от формы: чем выше сферичность, тем выше скорость седиментации. Одинаковую скорость оседания имеют частицы, полученные при разрезании базальта и бетона. Значительно выше скорость оседания пыли из гранита. Размеры стружек при разрезании находятся в диапазоне 0,4...6 мкм. Определена концентрация пыли в рабочем пространстве в размере $4,8 \cdot 10^8$ шт/м³. Доказано, что при выполнении работ на высоте около 2 м (200 см) за время рабочего цикла (около 3 мин) пыль останется на высоте около 1,5 м, то есть практически в рабочей зоне.

Ключевые слова: *Разрезание камня, микростружкообразование, зернистость отрезного круга, скорость оседания микрочастиц, концентрация пыли.*

A.V. Besimalova, O.A. Faizulyna, A.I. Knuish, O.P. Dashkovskaya, Chumachenko T.V.
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
Odessa National University "Odessa Polytechnic"

ANALYTICAL RESEARCH OF THE REGULARITIES OF MICRO-CHIP FORMATION WHEN CUTTING STONES FOR CONSTRUCTION WORKS

Cutting stone for construction work is carried out by disc diamond wheels, the rotation speed, which, therefore, the cutting speed is 35-50 m / s. Due to the high intensity of the cutting process and intense microchip formation, the process of cutting the stone is accompanied by significant dust formation, which can be both harmful and dangerous during work.

The sedimentation rate of particles depends significantly on the shape: the higher the sphericity, the higher the sedimentation rate. The particles obtained by cutting basalt and concrete have the same settling rate. The settling rate of dust from granite is much higher. The size of the chips when cutting is in the range of 0.4...6 microns. The concentration of dust in the working space was determined in the amount of $4,8 \cdot 10^8$ pcs/m³. It has been proven that when working at a height of about 2 m (200 cm) during the working cycle (about 3 minutes), dust will remain at a height of about 1.5 m, that is, practically in the working area.

Key words: *Stone cutting, micro-chip formation, granularity of the cutting wheel, sedimentation rate of microparticles, dust concentration.*

УДК 621 7.043

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-25

Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПАРАМЕТРИЧНА СТАНДАРТИЗАЦІЯ ГВИНТОВИХ І ШНЕКОВИХ ЗАГОТОВОК

У рамках системного підходу розроблено практичні основи параметричної стандартизації гвинтових спіралей шнекових робочих органів, яка містить інформацію про масу, номінальні значення та зв'язки геометричних параметрів різних видів таких виробів (фасонних, стрічкових) для різних способів їх виготовлення (навивання, вальцювання і листового штампування). Створені ряди охоплюють 6000 типорозмірів ГЗ на основі комбінування значень кроку, діаметрів зовнішньої та внутрішньої крайок і товщини витків. У розроблених рядах номінальних значень уніфікованих параметрів ГЗ враховано номінальні значення гвинтових елементів згідно з діючими вітчизняними та зарубіжними стандартами, а також новітні досягнення у технологіях їх виготовлення. Отримані результати є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів, а також сприяють зменшенню надмірно великої номенклатури гвинтових виробів, подібних за призначенням і таких, що несуттєво відрізняються за конструктивним виконанням і експлуатаційними характеристиками. Використання наведених розроблень забезпечує зменшення термінів підготовки виробництва, сприяє створенню умов для ефективної спеціалізації й кооперування підприємств, підвищенню їх техніко-економічної ефективності, а також сприяє випуску взаємозамінної продукції, що є основою для імпортозаміщення, ефективного просування вітчизняних конкурентоспроможних товарів на світовий ринок в умовах глобалізації міжнародних торговельних відносин.

Ключові слова: гвинтова заготовка, шнекова заготовка, параметрична стандартизація

Постановка проблеми. Жорстка конкурентна боротьба підприємств в умовах ринкової економіки зумовлює збільшення промислового потенціалу машинобудування України, у номенклатурі якого своєю складністю і працемісткістю виготовлення вирізняються деталі типу шнеків, які отримують із гвинтових (ГЗ) і шнекових заготовок (ШЗ). Перші представляють собою гвинтові спіралі, а другі - вали із гвинтовими спіралями. Державна програма "Ресурсоощадні та енергоефективні технології машинобудування" ставить завдання створення принципово нових технологій поряд з розвитком і удосконаленням існуючих, до яких слід віднести і виготовлення згаданих заготовок. Наукомістке і енергоощадне виробництво таких заготовок та розширення їх конструктивної різноманітності стимулює розвиток багатьох галузей промисловості, де використовують такі гвинтові вироби. Вирішальне значення у підсиленні конкурентних позицій відіграє здатність до постійного оновлення продукції, яке базується на втіленні системних методів розроблення технологічних процесів та конструкцій технологічного спорядження для їх реалізації з урахуванням технологічних можливостей конкретного підприємства. Параметрична стандартизація таких заготовок є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів, зменшення термінів підготовки виробництва, сприяє випуску взаємозамінної продукції, в тому числі для імпортозаміщення, розширення експортних можливостей в умовах членства України в СОТ і Європейському Союзі.

Аналіз відомих результатів досліджень. Наукові передумови параметричної стандартизації ГЗ і ШЗ викладено в роботах [1-4]. Однак відсутні практичні основи стандартизації таких заготовок у формі конкретизованої інформації щодо їх маси, номінальних значень геометричних параметрів та взаємовідповідності для різних видів таких виробів (фасонних, стрічкових витків) з урахуванням способів їх виготовлення (навивання, вальцювання і листового штампування).

Постановка задачі. На теперішній час в світі освоєно виробництво понад 10000 типорозмірів таких гвинтових спіралей діаметром від 20 до 3600 мм і товщиною від 2мм до 80мм. Вимоги до їх конструктивного виконання та технічні умови на їх виготовлення в Україні регламентуються рядом нормативних документів, однак, які є не гармонізованими із міжнародними стандартами, не враховують сучасних новітніх досягнень та ринкових пропозицій зарубіжних фірм (рис. 1).

На пострадянському просторі номенклатура та типорозміри шнеків для сільськогосподарських машин регламентує ГОСТ 2705-73, шнекових лісових фрез (ФЛШ-1,2) – ТУ 56-199-81, бурових шнеків – ГОСТ 24328-80 і ТУ3147-001-01423045-2007, пресів шнекових – ГОСТ 6113-84 і ГОСТ 4025-95, шнекових транспортерів загального призначення – ГОСТ 2037-82, ДСТУ 2763-94, шнеків вугледобувних комбайнів – ОСТ 12.44.286-85, ребристих труб із навивними ребрами – ТУ 3113-018-07520139-2008, гвинтових паль та анкерів – ТУ5264-001-21477574-2013,

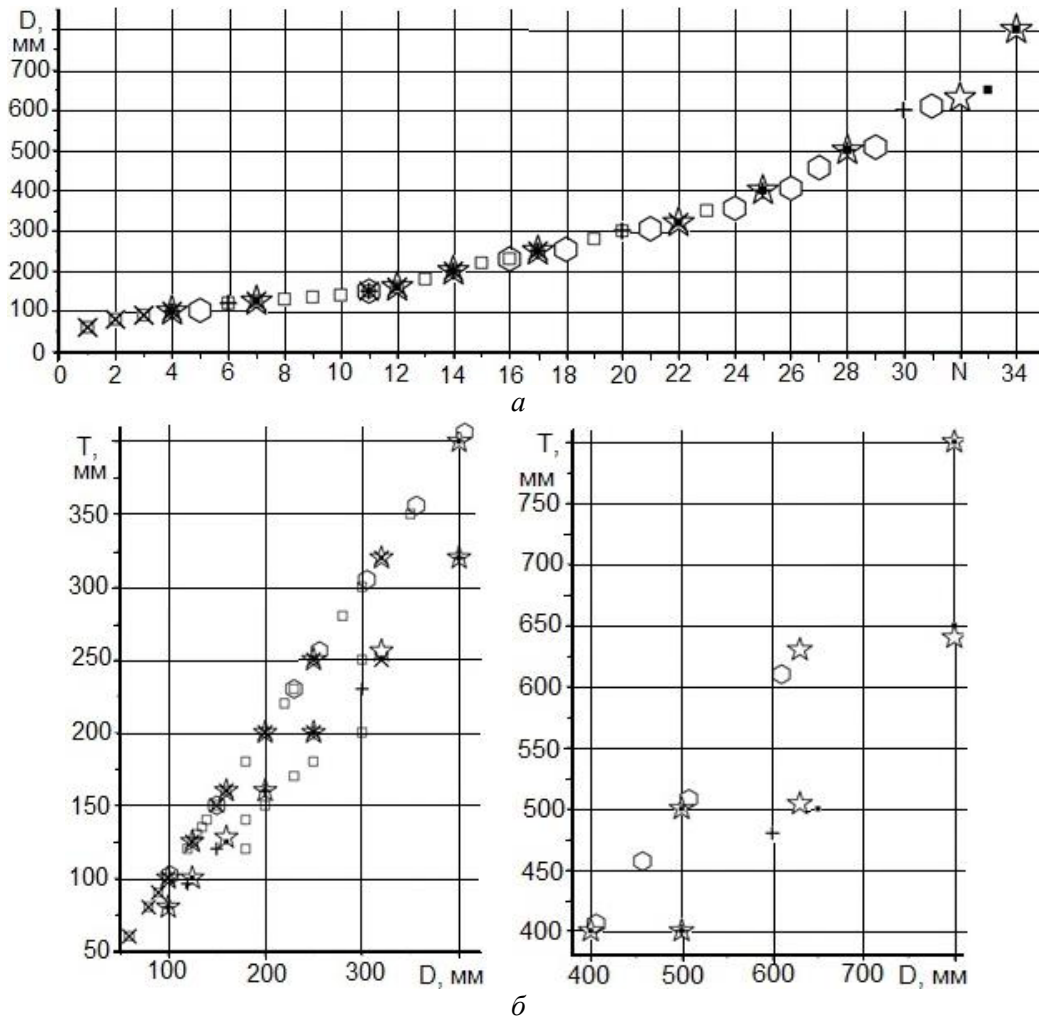


Рис. 1. Значення членів рядів номінальних розмірів діаметру D (а) і кроку T (б) спіралей гвинтових конвеєрів в різних стандартах та їх редакціях: \circ – ANCI-CEMA300; \square – типорозміри фірми E.Ashauer GmbH; $+$ – ГОСТ2037-43; \star – ГОСТ 2037-75; \blacksquare – ГОСТ 2037-82; \times – ГОСТ2707-75

ТУ5270-051-98799549-07, ТУ3.407.9-158. Наприклад, ГОСТ 2705-73 [5] передбачає отримання спіралей з зовнішнім діаметром 60...320 мм і відповідно внутрішнім – 20...121 мм способом холодного вальцювання смуги або стрічки шириною до 100 мм. А в ГОСТі 2037-82 визначено стандартний ряд можливих варіантів діаметрів шнеків (100-630мм) з кроком витків $T=0,8D$ чи $T=D$ і товщиною $H=3...6$ мм. Однак на ринку існує необхідність у використанні спіралей зі значно розширеним діапазоном таких конструктивних параметрів. Типорозміри гвинтових конвеєрів за кордоном регламентовані стандартами IS: 5563-1985 (R2005) "Screw conveyors for industrial use", CEMA STANDARD NO. 300. "Screw conveyor. Dimensional standards", DIN 15261-2-1986 "Continuous mechanical handling equipment for loose bulk materials; screw conveyors; helical screw blade" [6-12] та ін. Багато як вітчизняних, так і закордонних фірм у різних системах одиниць вимірювання розробили власну градацію розмірів гвинтових спіралей, розмістивши їх у рекламних проспектах та на офіційних сайтах (фірми: "Tecnofer" (Італія), "Colombo Pietro" (Італія), "Технік" (Україна), "Spirotech Shaftless Spirals (Північна Африка), "Agrispiral srl" (Італія), "VoR Environmental" (Австралія), "Bechtel GmbH" (Німеччина), "Martin Sprocket & Gear Inc."

(Аргентина), "FLITECH S.r.l." (Італія), "VAV Aandrijvingen B.V." (Нідерланди), "E. Aschauer GmbH" (Австрія), "Rösner Maschinenbau und Förderteile GmbH & Co" (Німеччина)).

Номенклатура та типорозміри гвинтових спіралей, які регламентуються стандартами на пострадянському просторі значно звужують обсяги, освоєні на ринку Європи та регламентуються іноземними державними та фірмовими (галузевими) стандартами та нормативами. Необхідно розробити ряди номінальних значень уніфікованих параметрів гвинтових спіралей, де необхідно врахувати їх номінальні значення згідно з діючими вітчизняними та закордонними стандартами, а також новітні досягнення у технологіях їх виготовлення. Відтак, така параметрична стандартизація сприятиме зменшенню надзвичайно великої номенклатури гвинтових виробів із подібних або за конструктивним виконанням, але різним функціональним призначенням та підвищенню техніко-економічної ефективності ТП і зменшення термінів підготовки виробництва, створенню умов для ефективної спеціалізації та кооперації підприємств. За кордоном кожен долар, вкладений у роботи з уніфікації, дає економічний ефект, який оцінюється десятками доларами. Зокрема, в Німеччині затрати на уніфікацію складають 0,17-0,24%, а прибуток від впровадження – 0,7-1,2%, тобто коефіцієнт економічної ефективності знаходиться в межах 4,0-5,0.

Мета роботи. На базі методології системного аналізу й результатів моніторингу ринку використання конструкцій деталей, отриманих з гвинтових і шнекових заготовок розробити практичні рекомендації з параметричної стандартизації таких деталей, що є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів.

Викладення основного матеріалу. Як відомо, параметрична стандартизація – це діяльність, яка направлена на вибір і встановлення раціональних числових значень параметрів технічних об'єктів відповідно до визначеної математичної закономірності.

Одним із базових елементів її реалізації для гвинтових виробів є використання понять ГЗ і ШЗ, що дозволило з єдиної точки зору розглядати різноманіття конструктивних реалізацій гвинтових спіралей деталей типу шнеків різного функціонального призначення (рис. 2).

Важливим сегментом параметричної стандартизації є розроблення параметричних рядів, тобто сукупності числових значень параметрів, які закономірно побудовані в повному діапазоні на основі визначеної градації.

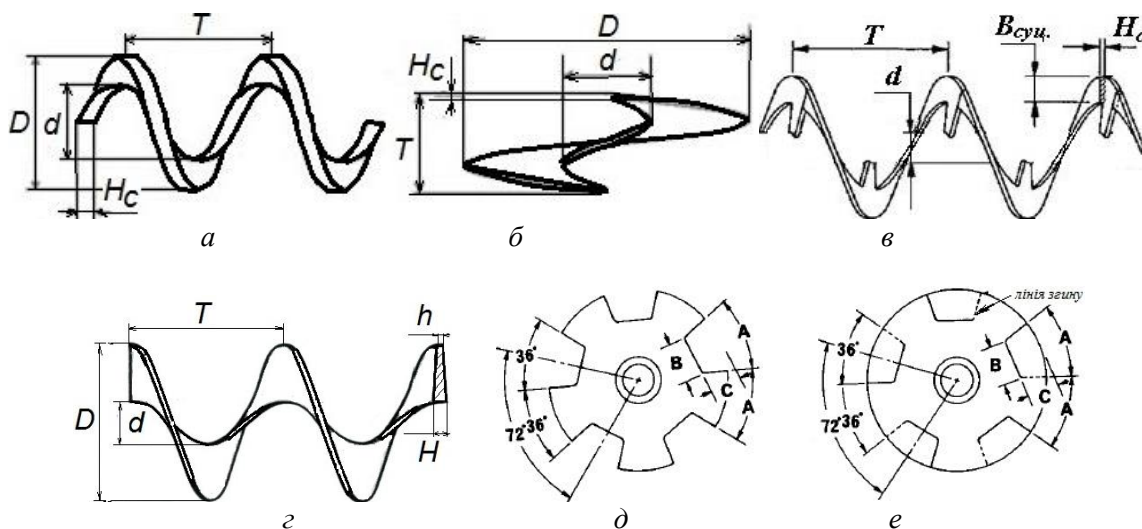


Рис. 2. Види ГЗ та їх основні геометричні параметри, які підлягають параметричній стандартизації: *a* – навівна гелікоїдна; *б* – секційна листоштампована; *в* – стрічкова листоштампована; *г* – вальцьована гелікоїдна (довгомірна); *д* – фасонна листоштампована; *е* – фасонна листоштампована з відігнутими крайками (для схем *д* і *е* – вигляд у площині, перпендикулярній до поздовжньої осі заготовки)

До основних параметрів ГЗ, що підлягають стандартизації, відносять розмірні (діаметр D і d відповідно зовнішньої та внутрішньої крайок витка, крок T , товщини h і H витка за його зовнішньою та внутрішньою крайками (або середньою товщиною H_c) і висота витка B (для навівних гвинтових заготовок (НЗ), довжина L_z заготовки деталізуючі форми розміри

фасонних та стрічкових заготовок) і параметри маси заготовки (у розрахунку на одиницю довжини та загальна маса).

Враховуючи принципи уніфікації [13] як у виробництві, так і проектуванні згаданих заготовок, відповідно до розробленої схеми, зображеної на рис. 3, нами визначено номенклатуру (секційні, фасонні, стрічкові, гелікоїдні (довгомірні) витків та типорозміри ГЗ, які можна використовувати у виробництві шнекових виробів різного функціонального призначення. Розміри довгомірних гелікоїдних ГЗ є взаємозамінними із розмірами секційних, навивних, стрічкових та фасонних ГЗ. Однак, у довгомірних (гелікоїдних) ГЗ товщина зовнішньої крайки приблизно дорівнює 50% від товщини її внутрішньої крайки.

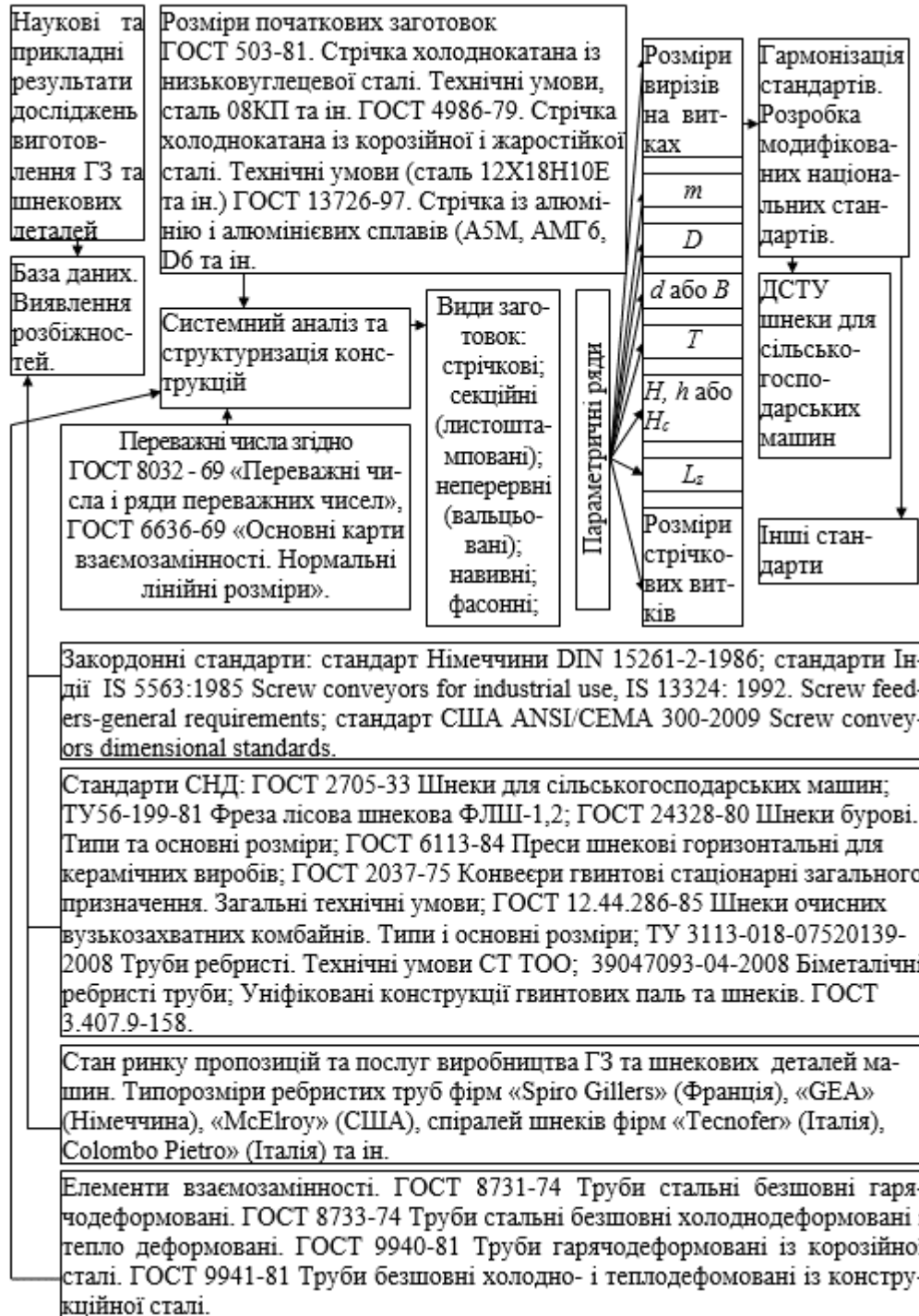


Рис. 3. Основні категорії інформації, які використовувались при створенні параметричних рядів

Градація параметричного ряду була побудована відповідно до рядів переважних чисел згідно ГОСТ 8032-84, рядів Ренара нормальних лінійних розмірів згідно ГОСТ 6636-69 (СТ РЕВ 514-77) (4 основних ряди Ra5, R10, Ra20, Ra40 і один додатковий, членами якого є заокруглені

значення переважних чисел відповідних рядів Rz5, Rz10, Rz20, R40, R80) і, у зв'язку з використанням ГЗ в радіотехніці в якості витих магнітопроводів, переважних чисел рядів E (E3, E6, E12, E24, E48, E96, і E192) Міжнародної електротехнічної комісії, яка є головним органом з стандартизації в галузі радіоелектроніки та електротехніки. Враховувалися також: діаметри трубного прокату (ГОСТ 8734-72) і параметри стрічкових заготовок (ГОСТ503-81, ГОСТ4986-79), що використовуються при виготовленні гвинтових спіралей; спеціальні нормативні документи (ГОСТ 2705-73, ТУ 56-199-81, ГОСТ 24328-80, ГОСТ 6113-84, ГОСТ 2037-75, ОСТ 12.44.286-85, ТУ 3113-018-07520139-2008 ДСТУ 3973-2000, ДСТУ 3974-2000. ДСТУ 3278-95, ДСТУ ГОСТ 2.001:2006, ДСТУ ГОСТ 01:2006, ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77), ГОСТ503-81, ГОСТ8032-84, ГОСТ4986-79. IS: 5563-1985 (R2005), SEMA STANDARD NO. 300, DIN 15261-2-1986); розміри гвинтових спіралей, розміщеними у рекламних проспектах та на офіційних сайтах зарубіжних фірм. Таким чином було враховано множину параметрів гвинтових виробів, які знайшли найширше використання в різних галузях виробництва (рис. 4 і 5).

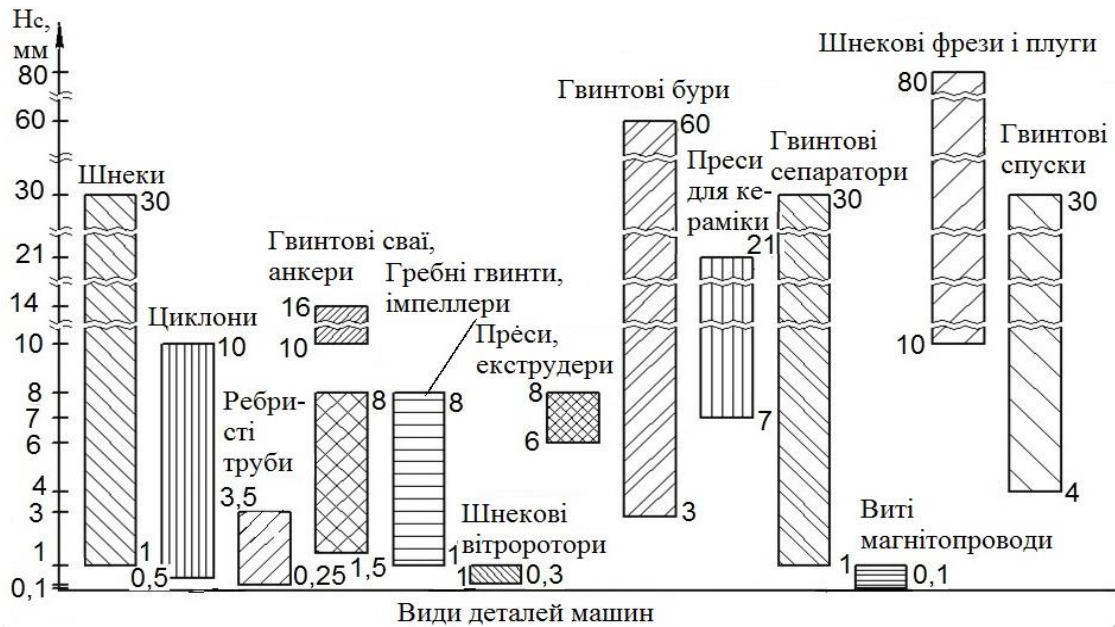


Рис. 4. Діапазони товщини спіралей гвинтових елементів найбільш використовуваних різних видів деталей машин, які виготовляють з ГЗ і ШЗ

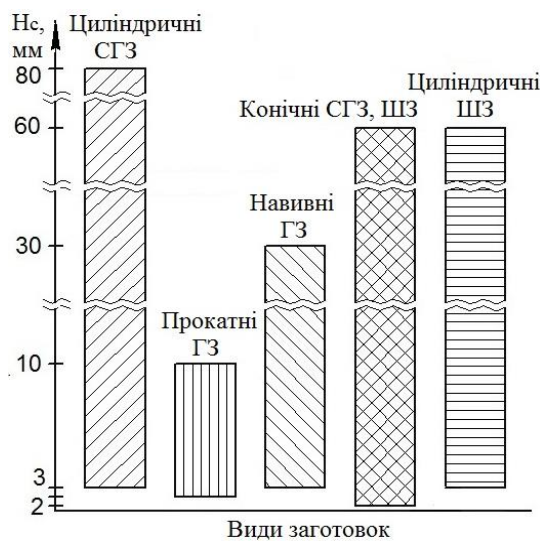


Рис. 5

D, мм	T, мм	d, мм	Тип		m, кг	Тип		m, кг	Тип		m, кг			
			H, мм	h, мм		H, мм	h, мм		H, мм	h, мм				
150	150	114	8,0	4,2	18,6									
		168	8,0	5,4	16,8									
	200	70	5	2,1	8	6	2	11	8	3,5	14			
		76	6	2	10									
		90	6	2,5	9,7	6	2,1	9,4						
		114	8,0	4,3	14,3									
300	250	168	8,0	5,4	12,8									
		60	5	2,2	6,8									
		70	5	2,1	7	6	2,2	8,5						
	300	250	76	5	2,5	6,8	6	2,4	8,4					
			90	5	2,2	6,8	6	2,4	8					
			70	4	2	5,1	5	2,5	5,5	5	2,3	6,6		
		300	250	70	8	3,8	10,9	10	4,8	13,4	5,5	2,4	6,9	
				76	6	2,8	7,9	4	2	4,5	5	2,5	6,5	
				76	12,5	5,6	14,15							
			300	250	76	6	2,5	7,2	8	3,9	12	4	2	6
					76	6	2,5	7,5	10	5	12,9	4	2	5,1

Рис. 6

Рис. 5. Діапазони товщини параметрів різних видів найбільш використовуваних ГЗ і ШЗ

Рис. 6. Фрагмент таблиці параметричних рядів номінальних значень геометричних параметрів

вальцьованих ГЗ, які можна виготовляти способами вальцювання смугових заготовок з:

■ – низьковуглецевих якісних сталей (08кп, St37, St-52, 08F, ML08, 3C); ■ – нержавіючих сталей (304/1.4301, 316/1.4401, 12X18H10T); ■ – вуглецевих сталей звичайної якості (Ст3, Q195, Q235)

У такій системі враховано зв'язки відповідності між зовнішнім і внутрішнім діаметрами, кроком, товщиною зовнішньої та внутрішньої крайок витка ГЗ (див. табл. 1-3) та іншими параметрами з урахуванням матеріалу заготовки та способу її виготовлення (рис. 6). Діапазон товщини і кроку витків 0,05-40 мм, діаметрів зовнішньої крайки – 40-1000 мм, ширини витків 4-500 мм. Довжину в осьовому напрямку L_{oc} багатовиткової ГЗ необхідно вибирати із ряду R₅20 за ГОСТом 6636-69, враховуючи, що часто в СГЗ $L_{oc} = T$.

Таблиця 1

Фрагмент відповідності параметричних рядів між номінальними значеннями діаметральних параметрів, товщини і кроку витків ГЗ і ШЗ

Діаметр зовнішньої крайки витка, мм																		
50	65	75	100	115	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	750
Крок витка, мм																		
10	32	50	50	50	50	50	75	75	75	125	150	175	175	200	225	250	300	380
16	50	65	65	65	65	65	100	100	100	150	175	200	200	225	250	300	350	400
20	65	75	75	75	75	75	115	115	115	175	200	225	225	250	300	350	400	450
25	98	112	100	100	100	100	125	125	125	200	225	250	250	300	350	400	450	500
Діаметр внутрішньої крайки витка, мм																		
13	17	33	21	33	25	24	28	28	28	50	88	57	76	76	88	116	140	168
14	20	40	22	40	32	26	34	34	42	57	100	70	90	88	102	140	168	200
17	22	50	25	48	34	31	42	42	48	60	120	76	114	100	114	160	219	250
20	26	65	27	57	42	34	48	45	60	70	160	90	133	102	219	170	133	300
Товщина витка, мм																		
4,00; 4,5; 5,0; 5,5;6,0; 6,5;7,0;7,5;8,0;8,5; 9,0;9,5; 10,0; 10,5; 11; 11,5; 12; 12,5; 13; 13,5; 14; 14,5; 15; 15,5; 16; 16,5; 17; 17,5; 18; 18,5; 19; 19,5; 20; 20,5; 21; 21,5; 22;																		

Таблиця 2

Фрагмент відповідності параметричних рядів номінальних значень діаметрів та вирізів зі сторони зовнішньої крайки витка у звичайних фасонних витків та фасонних витків з відігнутими крайками

D_1 , мм	A , мм	B , мм	C , мм	D_2 , мм	A , мм	B , мм	C , мм
100	35	25	16	350	118	79	64
150	50	38	22	400	134	89	76
225	76	54	38	450	152	98	86
250	35	57	45	500	168	108	98
300	102	70	50	600	200	124	124

Таблиця 3

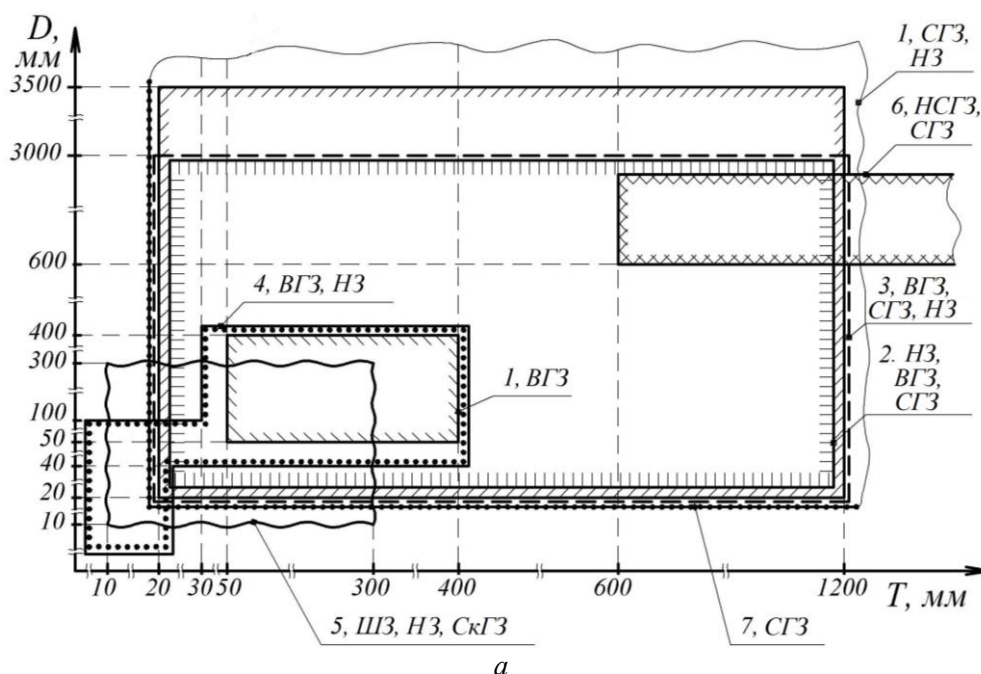
Фрагмент відповідності уніфікованих номінальних значень параметрів стрічкових СГЗ

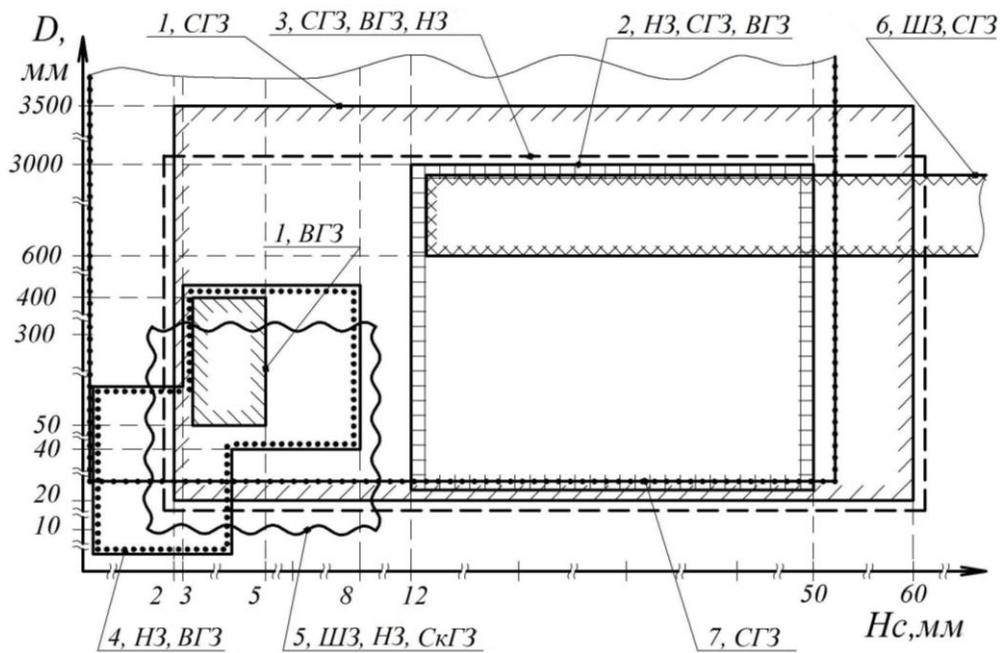
№ з/п	D , мм	T , мм	d , мм	H_c , мм	$B_{сви.}$, мм	m_1 , кг
1	150	150	60	4,5	25	1,51
2	225	225	60	6	38	4,89
3	250	250	60	6	38	
4	300	300	73	6	50	9,42
				9,5	64	12,5
				88	64	12,9
5	350	350	88	6	64	

Залежно від співвідношення величини кроку T до зовнішнього діаметру D ГЗ виділено такі типи кроків витків: стандартний крок: $T = D$, середній крок: $T = 0,5D$, короткий крок: $T = 2D/3$, довгий крок: $T = 1,5D$, крок дорівнює максимальній товщині витка $T = H_c$ (НЗ із закритою навивкою витків), а також спеціальні проміжні значення величин кроку.

Таким чином, можна покрити значну частину потреби в стандартизованих гвинтових виробів в сьогоденні і майбутньому (рис. 7).

Запропоновані параметричні ряди розмірних характеристик і маси ГЗ сприяють зменшенню надмірно великої номенклатури гвинтових виробів, подібних за призначенням і незначно відрізняються за конструктивним виконанням та експлуатаційними характеристиками, а отже, зменшення термінів підготовки виробництва, створенню умов для ефективної спеціалізації та кооперування підприємств і підвищенню їх техніко-економічної ефективності. Наслідком параметричної стандартизації є гармонізація стандартів – приведення їх змісту у відповідність з іншими стандартами для забезпечення взаємозамінності гвинтових виробів вітчизняного виробництва із закордонними зразками. Однак, пряме використання міжнародних стандартів значно звужує номенклатуру гвинтових виробів у зв'язку з останніми науковими напрацюваннями, що розширюють технологічні можливості виробництва таких заготовок і не співпадають з діючими вітчизняними стандартами.





б

Рис. 7. Области найширшого використання різних видів ГЗ і ШЗ з певними геометричними параметрами (кроком T і товщиною витка H_c) в різних галузях промисловості: 1 – сільське господарство; 2 – харчова промисловість; 3 – будівництво і буріння; 4 – енергетична та електротехнічна промисловість; 5 – промисловість виробництва та перероблення пластмас, хімічна промисловість; 6 – гірничодобувна промисловість; ВГЗ – вальцьована ГЗ; НЗ – навивна ГЗ; НСГЗ – неперервно-секційна ГЗ; СГЗ – секційна ГЗ; ШЗ – шнекова заготовка; СГЗ – секційна ГЗ

Практичним рішенням є укладання у перспективі національного модифікованого (зміненого) відносно закордонного стандарту або не гармонізованого NEQ. Модифікований стандарт, являтиме собою автентичний переклад міжнародного стандарту із внесенням в нього додаткових вимог і змін, які відображають сучасні наукові напрацювання у виробництві гвинтових виробів та потреби економіки України.

Згадані результати можна використовувати для гармонізації стандартів ДСТУ 2672:94 “Конвеєри гвинтові. Загальні технічні вимоги”, ДСТУ 2763:94 “Конвеєри гвинтові. Терміни та визначення” та ін., а також при створенні ДСТУ “Шнекові вироби. Ряди номінальних розмірів”.

Таким чином діаметр D зовнішньої крайки витків доцільно вибирати із ряду: 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 44; 45; 46; 48; 49; 50; 52; 53; 55; 56; 58; 60; 62; 65; 67; 70; 75; 80; 85; 88; 90; 92; 95; 98; 100; 102; 105; 110; 112; 115; 118; 120; 125; 127; 130; 135; 140; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200; 210; 215; 220; 225; 230; 240; 250; 260; 270; 275; 280; 290; 300; 320; 340; 350; 360; 370; 380; 400; 450; 460; 480; 500; 530; 580; 560; 580; 600; 630; 650; 750; 800; 850; 900 і т.д.

Товщину H_c витка доцільно вибирати із ряду: 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,11; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,57; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,0; 1,05; 1,10; 1,15; 1,20; 1,25; 1,30; 1,35; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,90; 1,95; 2,00; 2,10; 2,20; 2,25; 2,30; 2,40; 2,45; 2,50; 2,60; 2,70; 2,80; 2,90; 3,00; 3,10; 3,20; 3,30; 3,40; 3,50; 3,60; 3,80; 3,90; 4,00; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11; 11,5; 12; 12,5; 13; 13,5; 14; 14,5; 15; 15,5; 16; 16,5; 17; 17,5; 18; 18,5; 19; 19,5; 20; 20,5; 21; 21,5; 22; 22,5; 23; 23,5; 24; 24,5; 25; 25,5; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50 і т.д. В тому числі окремо виокремлено товщини витків із алюмінію і алюмінієвих сплавів, холоднокатаних низьковуглецевих сталей, гарячекатаних корозійностійких та жаростійких сталей.

Висновки. У рамках системного підходу розроблено практичні основи параметричної стандартизації шнекових робочих органів гвинтових заготовок, яка містить інформацію про масу, номінальні значення та зв'язки геометричних параметрів різних видів таких виробів (фасонних, стрічкових) для різних способів їх виготовлення (навивання, вальцювання і листового штампування). Створені ряди охоплюють 6000 типорозмірів ГЗ. У розроблених рядах номінальних значень уніфікованих параметрів ГЗ враховано номінальні значення гвинтових елементів згідно з діючими вітчизняними та зарубіжними стандартами, а також

новітні досягнення у технологіях їх виготовлення. Викладені результати є основою для створення гармонізованих вітчизняних стандартів, а також сприяють зменшенню надмірно великої номенклатури гвинтових виробів, подібних за призначенням і таких, що несуттєво відрізняються за конструктивним виконанням і експлуатаційними характеристиками. Використання наведених розроблень забезпечує зменшення термінів підготовки виробництва, сприяє створенню умов для ефективної спеціалізації й кооперування підприємств, підвищенню їх техніко-економічної ефективності, а також сприяє випуску взаємозамінної продукції, що є основою для імпортозаміщення, ефективного просування вітчизняних конкурентоспроможних товарів на світовий ринок в умовах глобалізації міжнародних торговельних відносин.

Інформаційні джерела

1. Васильків В.В. Параметрическая стандартизация деталей типа шнеков, изготовляемых из винтовых и шнековых заготовок. Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие: электронное научн. изд.: сб. матер. Междунар. научно-практ. интернет-конф. – Ижевск: ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – 2014. – С. 168-172.
2. Васильків В.В. Исторические и современные аспекты использования и изготовления деталей типа шнеков. Сб. ст. участников VII Междунар. научно-практ. конф. “Инновации в технологиях и образовании”: в 4 ч. / Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово: Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, Россия; Изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия» в г. Велико Тырново, Болгария, 2014. – Ч. 1. – С. 19-23.
3. Васильків В.В. Исследование особенностей использования деталей типа шнеков, полученных из винтовых и шнековых заготовок. Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. научн. тр. – Брянск: БГИТА – Вып. 19. – 2014. – С. 27-31.
4. Пилипець М.І., Васильків В.В. Уніфікація конструкцій гвинтових заготовок. Тези доповідей 11-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. – 2013. – С. 169-170.
5. ГОСТ 2705–73. Шнеки для сельскохозяйственных машин. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 5 с.
6. CEMA STANDARD NO. 300. Screw conveyor. Dimensional standards. ISBN 978-1-891171-39-0 Printed in the U.S.A. Web Site: <http://www.cemanet.org>
7. DIN 15261-2-1986 Continuous mechanical handling equipment for loose bulk materials; screw conveyors; helical screw blade / Date publ. 01.02.1986, MKC53.040.20, Type stahdard: ST.: DIN 15261(1952-02)*DIN 15261-2(1979-06)*DIN ISO 1050(1978-04): DIN 2448(1981-02)*DIN 15261-1(1986-02)*DIN 17100(1980-01).
8. DIN 15262-1983 Continuous mechanical handling equipment; Screw conveyors for loose bulk materials; Design principles: 01.01.1983, MKCST.
9. Quality Screw Conveyor Systems and Components. CATALOG NUMBER 991A Registration Trademark of Screw Conveyor Corporation, Hammond, Indiana - Mode of access: http://www.screwconveyor.com/SCC_Cat_991A.pdf
10. Screw conveyor manufacturing. Design. Engineering.: Industrial Screw Conveyors, Inc. Burleson. 2006. – 23 p.
11. Screw conveyor. Dimensional standards. (Approved April 1, 2009) ISBN 978-1-891171-39-0 Printed in the U.S.A.: Mode of access: <http://www.cemanet.org> – 6 p.
12. SPIRAL ENGINEERING [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.spiralengineering.com/>
13. ГОСТ РВ 15.207-2005 СРПП ВТ. Порядок проведения работ по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов. – 44с.

Vasyl Vasylykiv, Mykhailo Pylypets, Larysa Danylchenko, Dmytro Radyk
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

PARAMETRIC STANDARDIZATION OF SCREW AND AUGER BILLETS

From the point of view of the system approach the practical bases of parametric standardization of auger flights of screw working bodies which contains the information on weight, nominal values and interrelation of geometrical parameters of various kinds of such products (shaped, tape) for various ways

of their manufacturing (winding, rolling and sheet-metal stamping) are developed. The created ranks involve 6000 standard sizes of screw billets on the basis of a combination of values of a step, diameters of external and internal edges and thickness of winding. The developed ranks of nominal values of the unified parameters of screw billets take into account the nominal values of screw elements in accordance with current national and foreign standards, as well as the latest advances in manufacturing technologies. The obtained results are the basis for the creation of harmonized domestic standards, and also contribute to the reduction of the excessively large range of screw products, similar in purpose and those that differ slightly in design and in-use performance. The introduction of these developments reduces the pre-production time, helps to create conditions for effective specialization and cooperation of enterprises, increase their technical and economic efficiency, and promotes the production of interchangeable products, which is the basis for import substitution, effective promotion of national competitive goods on the world market in the context of globalization of international trade relations.

Keywords: *screw flight, auger billet, parametric standardization.*

Васи́лий Васи́льків, Миха́ил Пили́пец, Лариса Дани́льченко, Дми́трий Ра́дык
Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Украина

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ ВИНТОВЫХ И ШНЕКОВЫХ ЗАГОТОВОК

В рамках системного подхода разработаны практические основы параметрической стандартизации винтовых спиралей шнековых рабочих органов, содержащей информацию о массе, номинальных значениях и взаимосвязи геометрических параметров различных видов таких изделий (фасонных, ленточных) для различных способов их изготовления (навивки, вальцовки и листовой штамповки). Созданные ряды охватывают 6000 типоразмеров ВЗ на основе комбинирования значений шага, диаметров наружной и внутренней кромок и толщин витков. В разработанных рядах номинальных значений унифицированных параметров ВЗ учтены номинальные значения винтовых элементов согласно действующим отечественным и зарубежным стандартам, а также новейшие достижения в технологиях их изготовления. Полученные результаты являются основой для создания гармонизированных отечественных стандартов, а также способствуют уменьшению чрезмерно большой номенклатуры винтовых изделий, сходных по назначению и несущественно отличающихся по конструктивному выполнению и эксплуатационным характеристикам. Использование приведенных разработок обеспечивает уменьшение сроков подготовки производства, способствует созданию условий для эффективной специализации и кооперирования предприятий, повышению их технико-экономической эффективности, а также способствует выпуску взаимозаменяемой продукции, которая является основой для импортозамещения, эффективного продвижения отечественных конкурентоспособных товаров на мировой рынок в условиях глобализации международных торговых отношений.

Ключевые слова: *винтовая заготовка, шнековая заготовка, параметрическая стандартизация.*

УДК 621 7.043

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-26

Васильків В.В., Пилипець М.І., Данильченко Л.М., Радик Д.Л.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАВИВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ СЕКТОРНИХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Отримано аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових кільцевих секторних заготовок та інструментів на силові показники процесу формування. Досліджено вплив геометричних параметрів початкових заготовок, температури їх нагріву, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення гвинтових заготовок. Наведено залежності впливу радіуса початкових кільцевих секторних заготовок і діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри гвинтових заготовок та енергосилові параметри процесу. Встановлено, що зі зростанням радіуса зовнішньої крайки початкової заготовки при однаковому плечі зусилля згинання зростає момент навивання та затрачена робота. Використання секторних кільцевих заготовок зі змінним за їх довжиною радіусами зовнішньої крайки дозволяє отримати гвинтові заготовки із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але з різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка. Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Отримані результати можуть бути також використані для розрахунку параметрів кільцевої секторної заготовки при виготовленні навивних гвинтових заготовок.

Ключові слова: гвинтові заготовки, навивання, кільцева секторна заготовка.

Постановка проблеми. Технологічна операція виготовлення гвинтових (ГЗ) заготовок є однією із основних у виробництві гвинтових виробів до яких належать робочі органи екструдерів, шнекових транспортерів, грануляторів, змішувачів, морських якорів, штанг гвинтових бурів, паль та анкерів, гвинтових пресів, тощо. Їх номенклатура та типорозміри постійно розширюється [1]. Одним із ефективних технологічних способів отримання згаданих заготовок є навивання смуг ребром на оправи. Така технологія дозволяє отримувати вироби з питомою висотою витка (відношенням висоти витка B до його максимальної товщини H) до 20 од. і радіусом внутрішньої крайки витка не менше $(1,6 \dots 1,8)B$. Такі граничні значення зумовлені наявністю обмеження, при якому видовження зовнішніх шарів не повинно призвести до їх руйнування. Розроблення технології виготовлення широковиткових ГЗ із $B/H > 20$ та малим внутрішнім діаметром дасть можливість розширити номенклатуру та типорозміри виробів, виготовлених із таких заготовок.

Аналіз відомих результатів досліджень. Дослідження стосовно розроблення технологій виготовлення широковиткових ГЗ із малим внутрішнім діаметром витка присвячені праці [1-15]. Вони охоплюють технологічні способи прокатування, формування в штампах, оброблення різанням та навивання смуг на оправи. Однак існуючі технічні рішення характеризуються енерговитратністю і реалізуються з використанням спеціального устаткування в умовах масового та крупносерійного типів виробництв. Однією із раціональних технологій, яка дозволяє отримувати ГЗ із $B/H > 20$ в умовах дрібносерійного та одиничного типів виробництв є спосіб навивання ребром на оправу початкової кільцевої секторної заготовки (КСЗ) спеціальної форми, виконаної у вигляді кільцевого сектору, спіралі чи смуги з певним радіусом кривизни [16]. Крім цього, в окремих випадках у такій кільцевій секторній заготовці зі сторони її внутрішньої крайки можуть бути виконані трикутні вирізи. У такому випадку коефіцієнт нерівномірності витягування ψ_s гвинтової заготовки, отриманої з КСЗ, є меншим за коефіцієнт нерівномірності витягування ψ_l гвинтової заготовки, отриманої з прямолінійної смуги. При цьому граничне значення ψ_{lim} такого коефіцієнта визначається пластичністю матеріалу і залежить від відносного видовження δ_s при стандартному випробуванні металу на розтяг [15]: $\psi_{lim} = (1 + 2\delta_s)^2$. Завдяки цьому у процесі навивання КСЗ зменшено ступінь деформації такої початкової заготовки порівняно з прямолінійною плоскою стрічкою, за інших однакових умов, створюючи резерв для зменшення енергосилових

параметрів процесу формоутворення таких заготовок, збільшення ширини витка та зменшення мінімального радіусу згинання стрічки до граничного значення, який обмежується ресурсом пластичності металу.

Така технологія дозволяє без кінцевого оброблення за зовнішньою крайкою отримувати ГЗ із великими значеннями висоти та малим діаметром внутрішньої крайки витка. Тому для ефективного практичного використання такої технології існує необхідність у визначенні ширини початкової заготовки з врахуванням значень конструктивних параметрів формувального ролика та особливостей його розміщення відносно оправи, а також їх впливу на силові параметри процесу навивання.

Мета роботи. Отримати аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових КСЗ та інструментів на силові показники процесу формоутворення і конструктивні параметри ГЗ у процесі їх виготовлення способом навивання. Дослідити вплив геометричних параметрів КСЗ, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення ГЗ.

Викладення основного матеріалу. У процесі навивання ребром на оправу початкової заготовки у вигляді КСЗ має місце усадка стрічки такої заготовки внаслідок зминання за зовнішньою крайкою та згину під впливом обтискного ролика (рис. 1). Внаслідок цього ширина B_0 КСЗ є більшою від ширини витка ГЗ на величину

$$\Delta B = B_0 - B = \Delta B_{z_2} - 2\Delta B_p, \quad (1)$$

де ΔB_{z_2} – усадка стрічки початкової заготовки від згину, $2\Delta B_p$ – усадка стрічки від зминання на деформувальному ролику, B_0 – ширина початкової заготовки.

З урахуванням ділянки зминання значення плеча l прикладання сили P

$$l = l_0 + 0,5l_k / \cos \alpha_p, \quad (2)$$

де l_0 – плече прикладання сили P за відсутності ділянки зминання; l_k – довжина джерела пластичного контакту стрічки з роликом; α_p – кутовий параметр розміщення обтискного ролика.

Із $\Delta O_y O O_1$ кутовий параметр α_p розміщення обтискного ролика визначається:

$$\alpha_p = \arccos \left[\frac{(R_z - d_0 - B_0)^2 + (R_z - \Delta B_p + 0,5D_p)^2 - (0,5d_0 + H_k + 0,5D_p)^2}{2(R_z - d_0 - B_0)(R_z - \Delta B_p + 0,5D_p)} \right]. \quad (3)$$

де D_p, d – відповідно діаметри обтискного ролика та оправи; H_k – висота калібру між поверхнями оправи та обтискного ролика (у граничному випадку $H_k = B_0$); R_z – радіус зовнішньої крайки початкової заготовки.

Оскільки $\Delta B_p \ll R_z + 0,5D_p$, то вираз (3) можна подати так:

$$\alpha_p = \arccos \left[\frac{(R_z - d_0 - B_0)^2 + (R_z + 0,5D_p)^2 - (0,5d_0 + H_k + 0,5D_p)^2}{2(R_z - d_0 - B_0)(R_z + 0,5D_p)} \right], \quad (4)$$

Величину плеча прикладання зусилля згину визначаємо за формулою:

$$l_0 = (R_z - \Delta B_p) \operatorname{tg} \alpha_p, \quad (5)$$

або $l_0 = R_z \operatorname{tg} \alpha_p$, так як

$$R_z \gg \Delta B_p. \quad (6)$$

Із $\Delta O_y M N$ величина усадки стрічки на ролик

$$\Delta B_p = D_p + R_z - \sqrt{D_p^2 - l_k^2} - \sqrt{R_z^2 - l_k^2}. \quad (7)$$

Величина усадки стрічки від згину визначаємо за формулою:

$$\Delta B_{z_2} = B_0 - \Delta B_p - (R_{z_2} - 0,5d) = B_0 - \Delta B_p - \left(\frac{R_x R_z}{R_x R_z} - 0,5d \right) \quad (8)$$

де R_{z_2} – радіус кривизни зовнішньої крайки витка.

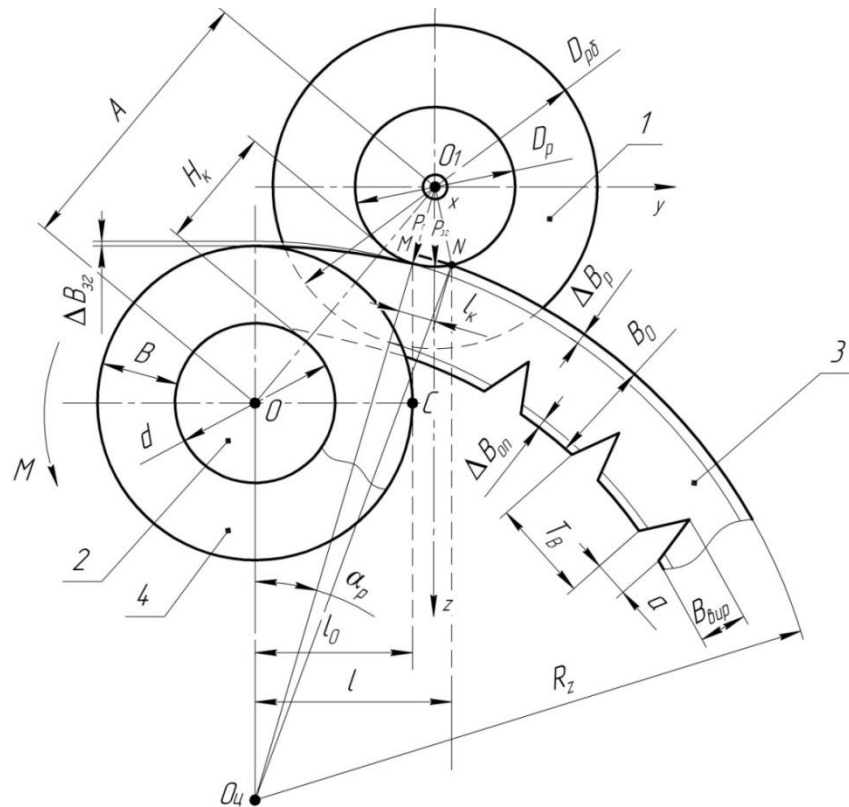


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення конструктивних параметрів початкової заготовки для інструменту з паралельним розміщенням осей ролика та оправи при виготовленні ГЗ за допомогою обтискного ролика, оснащеного притискним буртом:

1 – ролик; 2 – оправа; 3 – кільцева секторна заготовка; 4 – гвинтова заготовка

Параметр R_x визначаємо із рівняння, що враховує зміщення нейтральних шарів стрічки у процесі згинання на основі використання методики, описаної в роботі [17]:

$$R_x^4 - B_0 R_x^3 + a R_x^2 + b R_x + c = 0, \text{ у якому } a = 0,25 B_0^2 - 2 r_x^2 - B r_x;$$

$$b = r_x B_0 (r_x - 0,5 B_0); c = r_x^2 (r_x^2 + B_0 r_x + 0,25 B_0^2); r_x = \frac{0,5(R_z - B)d}{R_z - B - 0,5d}; R_x > 0.$$

Із аналізу такого виразу бачимо, що зі зменшенням радіуса R_x зовнішньої крайки початкової заготовки зменшується величина ΔB_{32} , що зумовлено зменшенням ступеня деформації такої заготовки.

Припустивши, що для розглядуваного випадку справедлива формула, аналогічна залежності для визначення моменту чистого згину, то:

$$M_{32} = \varphi_\sigma \sigma_s H_0 B_S^2 / 4, \quad (9)$$

де H_0 – товщина заготовки; $B_S = B_0 - B_{\text{вир}}$; φ_σ – коефіцієнт, який враховує зміну напруженого стану залежно від ширини заготовки. Загалом $\varphi_\sigma = \varphi_\sigma(D, d_0)$ і для розглядуваного випадку $\varphi_\sigma \in [0,8; 1,15]$.

Тоді значення сили згину P_{32} із умов згинання і зминання стрічки на ділянці довжиною l_k визначаються так:

$$P_{32} = \frac{\varphi_\sigma \sigma_s H_0 B_S^2}{4(l_0 + 0,5 l_k / \cos \alpha_p)}; \quad (10)$$

$$P_{32} = \frac{\sigma_{32} l_k H_0}{\cos \alpha_p}, \quad (11)$$

де σ_{32} – розрахункове напруження зминання.

Прирівнявши вирази (10) і (11), визначаємо величину джерела пластичного контакту стрічки з роликом:

$$l_k = \left(\sqrt{l_0^2 + \frac{\varphi_{\sigma} \sigma_s}{2\sigma_{зм}} B_S^2} - l_0 \right) / \cos \alpha_p \quad (12)$$

Довжину джерела пластичного контакту криволінійної стрічки з роликом можна визначити також за формулою:

$$l_k = 1,26 \frac{(P_r / 2H_0)^{0,77}}{HB^{0,88} (2D_p^{-1} + R_z)^{2,3}}, \quad (13)$$

де $P_r / 2H_0$ – навантаження на одиницю довжини обтискного ролика; H_0 – товщина заготовки; HB – твердість матеріалу заготовки; P_r – радіальна складова зусилля згину заготовки.

Із наведених залежностей бачимо, що у випадку навивання на оправу початкової заготовки із $R_z \neq const$, $R_z \in [R_{z\min}; R_{z\max}]$, $B_0 = const$, $B \neq const$, $B \in [B_{\min}; B_{\max}]$ у якій значення B_{\max} і B_{\min} залежатимуть від відповідних граничних значень $R_{z\min}$ і $R_{z\max}$.

Таким чином, розрахунок параметрів початкової заготовки здійснюють в такому порядку:

1. Вихідними даними для розрахунку є параметри D_p, R_z, d_0, H_k, B_0 .
2. За формулою (4) визначають α_p , за формулою (5) – величину l_0 , за формулою (12) – параметр l_k .
3. Визначають величину l прикладання зусилля згину за формулою (2).
4. Визначають уточнені складові усадки стрічки: за формулою (7) величину ΔB_p , а за формулою (8) величину $\Delta B_{зг}$.
5. Визначають висоту B витка ГЗ за формулою (1).
6. Коригують величину B_0 і (або) H_k .
7. Повторюють розрахунок за п. 1-6 до отримання уточненого значення висоти B .

Здійснено дослідження моменту навивання та виконаної роботи, силових параметрів процесу, а також товщини зовнішньої та внутрішньої крайок витка та його ширини залежно від радіуса зовнішньої крайки КСЗ, виду змашувальних матеріалів, діаметра ролика та розмірів трикутних вирізів на початкових заготовках.

Проведено навивання КСЗ із різними радіусами R_z (62 мм; 70 мм; 78 мм) їх зовнішніх крайок, на оправі діаметром 40 мм. КСЗ товщиною 2 мм та шириною 32,5 мм зі сталі 20 попередньо нагрівали до температури 1200 °С.

Параметри налагодження інструменту: висота калібру $A = 75$ мм, відстань між осями оправу та ролика в напрямку осі у $l = 25$ мм.

В дослідженні використано ступеневі ролики з різними діаметрами D_p (40 мм; 60 мм; 80 мм і 100 мм). Діаметр $D_{p\delta}$ більшої ступені підтискної частини ролика дорівнює 100 мм при $D_p = 40$ мм, а також для значень D_p , які визначено за формулою $D_{p\delta} = D_p + 30$ мм.

У дослідженні використовували як суцільні КСЗ, так із трикутними вирізами зі сторони її внутрішніх крайок.

Параметри вирізів були такими: крок T_B : 15; 25; 35; 45 мм; висота $B_{\text{вир}} = 10$ мм; довжина основи вирізів – 9,6 мм; радіус r_B округлення вершини вирізів – 1 мм. При цьому використовували такі мастила: водо-графітна суміш «Графітол-В»; водна суспензія солі з добавками азотнокислого натрію.

На рис. 2 представлено залежності впливу радіуса КСЗ на геометричні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення, на рис. 3 – залежності впливу діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення.

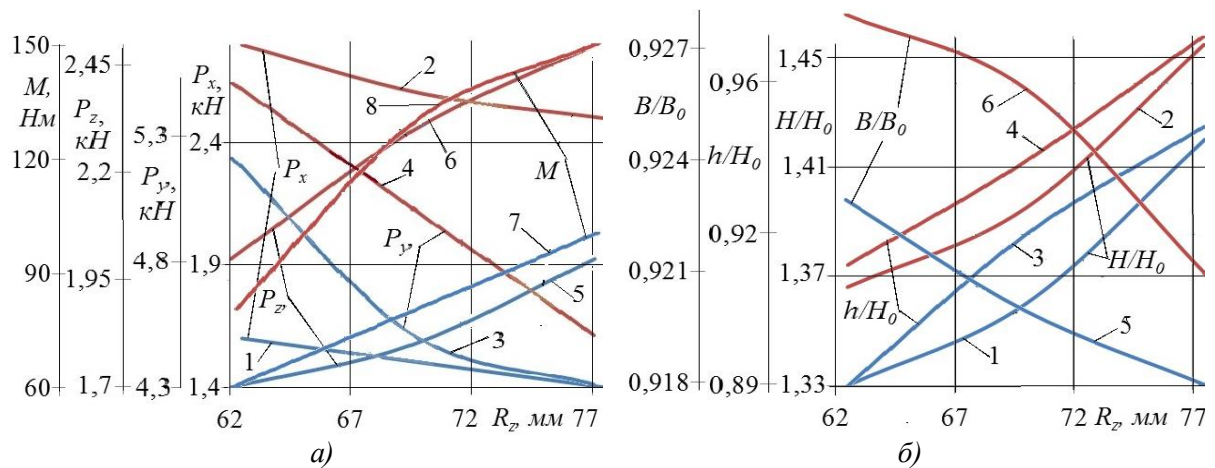


Рис. 2. Залежності величини зусиль P_x (1, 2), P_y (3, 4), P_z (5, 6) на згинаючому роликуні та моменту навивання (а), а також відношення H/H_0 товщини внутрішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (1, 2), відношення h/H_0 товщини зовнішньої крайки витка до номінальної товщини смуги (3, 4) та усадки B/B_0 стрічки (5, 6) від радіуса заготовки (б) при навиванні на оправу діаметром $d = 40$ мм стрічкової заготовки зі сталі 20 при температурі $t = 1200^\circ\text{C}$ із використанням: 1, 3, 5, 7 – водо-графітової суміші «Графітол-В»; 2, 4, 6, 8 – водної суспензії солі з добавкою азотнокислого натрію

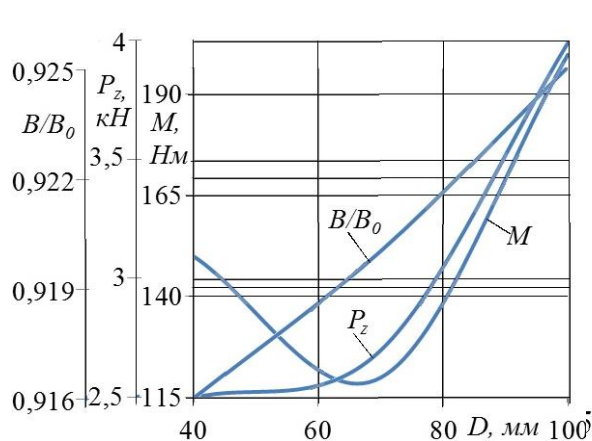


Рис. 3. Залежність моменту навивання, зусилля на роликуні, величини усадки стрічки B/B_0 та силових параметрів від діаметра обтискного ролика при навиванні на оправу діаметром $d = 40$ мм, стрічкової заготовки зі сталі 20 із $H_0 = 2$ мм, $B_0 = 32,5$ мм, $A = 75$ мм, $l = 25$ мм, $R_z = 77,5$ мм, $D_{p\sigma} = D_p + 30$ мм при температурі $t = 1200^\circ\text{C}$ із використанням мастильного матеріалу у вигляді водної суспензії солі з добавкою азотнокислого натрію

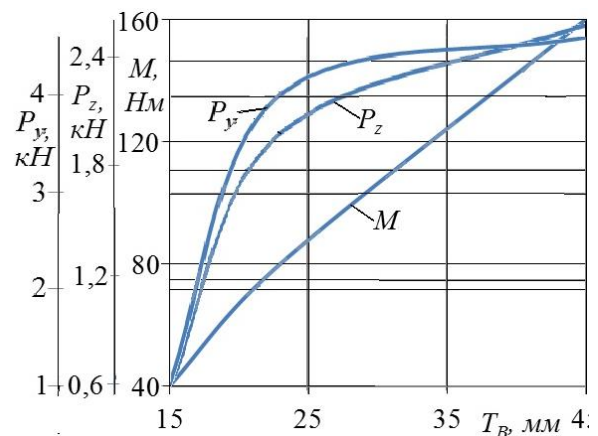


Рис. 4. Залежності моменту навивання та силових параметрів на згинаючому роликуні від кроку вирізів на заготовці при навиванні на оправу діаметром $d = 40$ мм, стрічкової заготовки зі сталі 20 із $H_0 = 2$ мм, $B_0 = 32,5$ мм, $R_z = 78$ мм, $A = 75$ мм, $l = 25$ мм, $D_p = 40$ мм, $D_{p\sigma} = 100$ мм, $B_{вир} = 11$ мм, $a = 9,6$ мм, $r_B = 1$ мм при температурі $t = 1200^\circ\text{C}$ із використанням водо-графітової суміші «Графітол-В»

З графіків, представлених на рис. 2, випливає, що зі зростанням радіуса R_z при однаковому плечі l зусилля згину заготовок зростає момент навивання та затрачена робота. Це зумовлено збільшенням ступеня деформації заготовок (рис. 2): із $H_0 = 2$ мм, $B_0 = 32,5$ мм, $R_z = 78$ мм, $A = 75$ мм, $l = 25$ мм, $D_p = 40$ мм, $D_{p\sigma} = 100$ мм. Однак, найменші зусилля

деформації спостерігаються при використанні мастила «Графітол–В».

Зростання моменту навивання супроводжується зростанням силового впливу на деформувальний ролик. А використовуючи КСЗ з різним радіусом R_z , можна отримати ГЗ із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка.

З графіків, представлених на рис. 3, бачимо, що із збільшенням діаметра D_p ролика плече l прикладання сили згину і особливо змінання зменшуються.

При малому значенні плеча прикладання зусилля згину місце притискання заготовки в осьовому напрямку наближаються до зони пластичного згину стрічки, що важливо для попередження гофроутворення за внутрішньою крайкою спіралі.

Зростання питомої висоти перетину ГЗ пов'язано із значним збільшенням діаметра D_p обтискного ролика, що є неприйнятним із конструктивних міркувань.

Однак, із рис. 3 бачимо, що із збільшенням діаметра D_p ролика спостерігається зменшення моменту навивання внаслідок зменшення величини усадки стрічки від її контакту з роликом, а при великих значеннях діаметра інструменту ускладняється процес навивання внаслідок збільшення плеча прикладання зусилля згину стрічки та можливої втрати її стійкості.

Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри процесу формоутворення ГЗ (рис. 4) показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Зменшення кроку вирізів з 45 мм до 15 мм приводить до зменшення моменту навивання на 25%.

Отримані результати можуть бути використані для розрахунку параметрів КСЗ у ТП виготовлення навивних ГЗ.

Висновки. Отримано аналітичні залежності, які описують зв'язок параметрів початкових КСЗ та інструментів на силові показники процесу формоутворення та конструктивні параметри різнопрофільних ГЗ, які отримують способами навивання.

Досліджено вплив геометричних параметрів КСЗ, температури їх нагріву, параметрів інструментів та мастильних матеріалів на енергосилові показники процесу виготовлення навивних заготовок. Наведено залежності впливу радіуса початкових криволінійних заготовок на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення, а також впливу діаметра ролика інструменту на конструктивні параметри ГЗ та енергосилові параметри процесу їх формоутворення.

Показано, що зі зростанням радіуса зовнішньої крайки початкової заготовки при однаковому плечі зусилля згину заготовок зростає момент навивання та, відповідно, і затрачена робота. Однак найменші зусилля деформації спостерігаються при використанні мастила «Графітол–В». Зростання моменту навивання супроводжується зростанням силового впливу на деформуючий ролик. А використовуючи КСЗ з різним радіусом її зовнішньої крайки, отримуємо ГЗ із однаковими зовнішніми та внутрішніми діаметрами, але різною товщиною зовнішніх та внутрішніх крайок витка. Встановлено, що при збільшенні діаметра ролика плече прикладання сили згину і особливо змінання зменшуються.

Дослідження впливу кроку трикутних вирізів на початкових заготовках на енергосилові параметри процесу формоутворення ГЗ, показали, що наявність вирізів суттєво зменшує зусилля деформації. Зменшення кроку вирізів приводить до зменшення моменту навивання.

Отримані результати можуть бути також використані для розрахунку параметрів КСЗ при виготовленні навивних ГЗ.

Інформаційні джерела

1. Tekhnolohichni osnovy formotvorennya riznoprofil'nykh hvyntovykh zahotovok / Hevko B.M., Pylypets' M.I., Vasylykiv V.V., Radyk D.L. – Ternopil': Vyd-vo TDTU im. I. Pulyuya, 2009. – 457 p. – ISBN 966-305-014-4 [In Ukrainian].
2. Rogatinskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of the software. Acta Technologica Agriculturae // Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2017. - № 2, P. 36-41.
3. Duraipandi R., Manikandan S. Ganesan S & Production team of Zone Eversendai construction private limited; Helicoidal screw fabrication in trichy factory. India. 12-06-2016.

4. Jerry L. Straalsund; Samuel F. Harding; Dirk M. Nuernbergk; and Chris Rorres Experimental evaluation of advanced archimedes hydrodynamic screw geometries. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2018.
5. Cheng C., Chen W., Yang J., Study on the reel mower helical blade by reverse engineering, 7th Int. Symp. Mach. Mecha. Agr. Biosystems Eng. (2014).
6. Jian Zhong Zhang, Lei Zhao, Fang Fang, Fei Yang Research on Cutting Methods for Conical Spiral Blade Applied Mechanics and Materials. Vol. 341-342, July 2013.
7. Li Zheng Feng, Zhu Juan. Design and Calculation of Helical Blade Drawing Machine. Coal Mine Machinery, 2009 Vol. 30, No. 11.
8. Diachun A., Vasylyk V., Korol O., Myhailiuk V., Golovaty I., Kuras A. (2021) Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 101, no 1, pp. 68–78.
9. Tan Chung Ming, Gin Yei Lin. An innovative compression mold design for manufacture of reel mower helical blades. Applied Mechanics and Materials, vol. 851, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2016, pp. 255–258.
10. Nkakini S. O., Yabefa B. E. Design, fabrication and evaluation of a spiral blade lawn mower, Eur. Int. J. Sci. Technol. 3(4) (2014) 165-172.
11. Li Zheng Feng, Li Qiang Jiang. Design of Combined Helical Blade Manufacturing Device. Advanced Materials Research, vol. 753–755, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2013, pp. 1386–1390.
12. Zhou Zhe Bo, Tong Jie Zhang, Liang Chen, Chao Yin, and Jian Xu. Study on molding processing method of new type shotcrete machine helical blade. Advanced Materials Research, vol. 787, Trans Tech Publications, Ltd., Sept. 2013, pp. 572–576.
13. Zhang, JZ, Zhao, L., Fang, F., & Yang, F. Research on cutting methods for conical spiral blade. Applied Mechanics and Materials, (2013) 341–342, 482–484.
14. Feng Guang- liang¹, Bai Yin-shan. Some Moulding Ways of Spiral Vane. Coal Mine Machinery, 2006. Vol. 27, No. 9.
15. Gevko B. M. Tekhnologiya izgotovleniya spiraley shnekov. Vishcha shkola, – 1986, 128 p., L'vov. (In Russ.)
16. Vasylyk V.V. Tekhnologiya izgotovleniya navivnykh vintovykh zagotovok. Vestnik TulGU. Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya: Mater. Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. "APIR-15". Pod red. V.V. Preysa, Ye.V. Davydovoy – V 2 –kh chastyakh. – CH. 2. – Tula: Izd.– vo TulGU. – 2010. – pp. 56-61. (In Russ.)
17. Moshnin Ye.M. Gibka i pravka na rotatsionnykh mashinakh / Ye.M. Mosh-nin. – M: Mashinostroyeniye, 1977. – 269 p. (In Russ.)

Vasyl Vasylykiv, Mykhailo Pylypets, Larisa Danylchenko, Dmytro Radyk
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

RESEARCH OF TECHNOLOGY OF WINDING OF THE SECTOR RING BILLETS FOR PRODUCTION OF SCREW FLIGHTS

Analytical dependencies are obtained, which describe the relationship between the parameters of the initial ring sector billets and tools on the energy-power indicators of the forming process. The influence of geometric parameters of the initial billets, their heating temperature, parameters of tools and lubricants on the energy-power parameters of the manufacturing process of wound screw flights are studied. The dependences of the influence of the radius of the initial ring sector billets and the diameter of the tool roller on the design parameters of the screw flights and the energy-power parameters of the forming process are given.

It is established that with the increase of the radius of the outer edge of the initial billet with the same arm of the bending force increases the winding moment and expended work. The use of ring sector billets with variable radius of the outer edges allows to obtain screw flights with the same outer and inner diameters, but different thicknesses of the outer and inner edges of the coil. Research of the influence of the pitch of triangular cutouts on the initial billets on the energy showed that the presence of cutouts significantly reduces the deformation force. The obtained results can also be used to calculate the parameters of the ring sector billet in the manufacture of winding screw flights.

Keywords: screw flights, winding, sector ring billet.

Василий Васильків, Михаил Пилипец, Лариса Данильченко, Дмитрий Радык
Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАВИВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ СЕКТОРНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИНТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Получены аналитические зависимости, описывающие связь параметров начальных кольцевых секторных заготовок и инструментов силовые показатели процесса формообразования. Исследовано влияние геометрических параметров начальных заготовок, температуры их нагрева, параметров инструментов и смазочных материалов на энергосиловые показатели процесса изготовления винтовых заготовок. Представлены зависимости воздействия радиуса начальных кольцевых секторных заготовок и диаметра ролика инструмента на конструктивные параметры винтовых заготовок и энергосиловые параметры процесса. Установлено, что с увеличением радиуса наружной кромки начальной заготовки при одинаковом плече усилия гибки возрастет момент навивки и затраченная работа. Использование секторных кольцевых заготовок с переменным по их длине радиусами внешней кромки позволяет получить винтовые заготовки с одинаковыми наружными и внутренними диаметрами, но с разной толщиной наружных и внутренних кромок витка. Исследование влияния шага треугольных вырезов на энергосиловые параметры показали, что наличие вырезов существенно уменьшает усилия деформации. Полученные результаты могут быть использованы также для расчета параметров кольцевой секторной заготовки при изготовлении витых винтовых заготовок.

Ключевые слова: винтовые заготовки, навивка, кольцевая секторная заготовка.

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, польською або англійською мовами. Вартість публікації становить **70 грн.** за 1 стор.

Оплата проводиться за реквізитами:

Картка Приват банку № 5168 7451 1219 8426

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. 28.05.2021 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.