



№9

грудень 2025

збірник наукових праць

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№9 грудень 2025 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ПЕДАГОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Збірник наукових праць «Технічна творчість»

Засновано в жовтні 2015р.

Виходить 2 рази на рік

Хмельницький 2025, №9

Технічна творчість: Збірник наукових праць./ Укл.: Скиба М.Є., Поліщук О.С., Горященко С.Л.. Хмельницький: ХНУ, 2025. – № 9 – 124 с.

Редакційна колегія:

Голова:

Скиба М. Є. - д.т.н., проф. член-кореспондент НАПНУ

Співголова:

Радкевич В.О. - д.п.н., проф., член-кореспондент НАПНУ

Заступник голови:

Поліщук О.С. – д.т.н., проф.

Відповідальний секретар:

Горященко С.Л. –к.т.н., доц.

Технічні редактори:

Горященко С.Л. –к.т.н., доц

Лісевич С.П. – старший викладач

Члени редакційної колегії:

Бонек М. д.т.н. (Польща), Бромберек Ф. д.т.н. (Польща), Бурмістенков О.П. д.т.н., Гергель М. д.т.н. (Польща), Гордєєв А.І. д.т.н., Диха О.В. д.т.н., Драпак Г.М. к.т.н., Защепкіна Н.М. д.т.н., Злотенко Б.М. д.т.н., Калда Г.С. д.т.н., Мазуркевич А. д.т.н. (Польща), Майдан П.С. к.т.н., Мартинюк А.В. к.т.н., Матушевський М. д.т.н. (Польща), Мілих В.І. д.т.н., Місяць В.П. д.т.н., Мусял Я. д.т.н. (Польща), Неймак В.С. к.т.н., Олександренко В.П. д.т.н., Орловський Б.В. д.т.н., Панасюк І.В. д.т.н., Пуць В.С. к.т.н., Синюк О.М. д.т.н., Смутко С.В. к.т.н., Снядковський М. д.т.н. (Польща), Танські Т. д.т.н. (Польща), Ткачук В.П. к.т.н., Троціковський Т. д.т.н. Польща, Чорний О.П. д.т.н.

**Рекомендовано до друку Рішенням Науково-технічної Ради
Хмельницького національного університету
Протокол № 12 від 17.12.2025 р.**

Наукові праці друкуються у авторській редакції

За достовірність фактів, назв та посилань на літературні джерела
відповідальність несуть автори

Адреса редакції Збірника наукових праць «Технічна творчість»:

Хмельницький національний університет

вул. Інститутська, 5, м. Хмельницький, Україна, 29016

кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

<http://maees.khnu.km.ua/>

e-mail: maees1969@gmail.com

ЗМІСТ

1. Синюк О.М., Кунцов О.Ю. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПОВНЕННЯ ПРЕС-ФОРМИ ПІДОШВИ ВЗУТТЯ В СЕРЕДОВИЩІ MOLDEX3D	6
2. Питлик Н.А., Корецька Л.О., Соколан Ю.С. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТРИЛАНКОВОГО МІНІ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА.....	8
3. Боровик Н.В. Боровик Д.О. ЕКОНОМІКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ РОБІТНИЧИХ ПРОФЕСІЙ	10
4. Єрій А., Синюк О.М. СУЧАСНІ МЕТОДИ ІМПРЕГНУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ: ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ	12
5. Пеньковий П.Р., Сельський А.А., Макаришикін Д.А. ПРОБЛЕМАТИКА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИМІЩЕННЯ В СЕРЕДОВИЩІ PROTEUS.....	15
6. Гурна І.І. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА.....	17
7. Фадєєв О.О., Майдан П.С., Соколан Ю.С. РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РЕГУЛЯТОРА ВИСОТИ РОЗМІЩЕННЯ ВЕРХНЬОЇ КОРЗИНИ ПОСУДОМІЙНОЇ МАШИНИ.....	20
8. Боровик Д.О.Горященко С.Л. ДЕЯКІ ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ НАЗЕМНОГО ДРОНА.....	22
9 Свідерський Р.Р.Поліщук О.С. РОЗРОБКА НАЗЕМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	24
10. Ткачук О.А., Бачок М.О.,Посонський С.Ф. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСУ ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН НА ОСНОВІ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ.....	27
11. Ференс Д.Ю., Посонський С.Ф.,Бабак О.П. ДІАГНОСТУВАННЯ ДАТЧИКА МАСОВОЇ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ АВТОМОБІЛЯ.....	29
12. В.А. Гончар ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА.....	31
13. Цимбалюк Ю. В., Мартинюк А.В., Федорів В.М. ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ РОЗСОЛУ МЕТОДОМ ТАНГЕНЦІА- ЛЬНОЇ МІКРОФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СИРНИХ МАС.....	33
14. Кармаліта А. К., Дзяворук О. Ф.,Пундик С.І. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ ЗА ФРИКЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХОНЬ	35
15. Пінковський Д.С., Пундик С.І. РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАВЧАЛЬНИМ РОБОТОМ- МАНІПУЛЯТОРОМ	37
16 Качуринець Д., Синюк О.М. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ І ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ.....	39
17 Фоменко І.В., Бабак О.П., Посонський С.Ф. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ.....	41

18. <i>Бартков М.С</i> СИСТЕМА ЕЛЕКТРИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВАКУУМНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДА.....	43
19. <i>Литвинов О. О.</i> КОМПЛЕКС ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА АНАЛІЗУ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИБОЛОГІЧНИХ ВУЗЛАХ.....	45
20. <i>Єрій А., Синюк О. М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИК МАТЕРІАЛІВ ПРИ КАВІТАЦІЙ- НОМУ ІМПРЕГНУВАННІ.....	47
21. <i>Лонський В.О.Кармаліта А.К.</i> ВПЛИВ СТУПЕНЯ ПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛУ КАМЕРИ ПОВІТРЯМ НА ЧАС ІМПУЛЬСУ В ПНЕВМАТИЧНОМУ ПРИСТРОЇ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕННЯ СИНТЕТИЧНОГО ПУХУ.....	49
22. <i>Гетьман М.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИСАДОК, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	52
23. <i>Пасатюк В., Синюк О.М.</i> ВПЛИВ СИРОВИННОГО СКЛАДУ ТА ТИПУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ МАТЕРІАЛУ НА ЯКІСТЬ РОЗВОЛОКНЕННЯ	54
24. <i>Бардадимов В.В., Форкун Ю.В.,Макаришикін Д.А.</i> ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНОГО АЛГОРИТМУ СИНТЕЗУ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	56
25. <i>Мармій А.Ю.,Форкун І.В.,Соколан Ю.С.</i> РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБОВУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ПЕЧЕЙ.....	58
26. <i>Дорофєєв Ю.О.,Горященко С.Л.,Дорофєєв О.А.</i> ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ “КОНСТРУКЦІЯ – ГРАНУЛЬОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ”, ПОВЕДІНКА ЯКОЇ МОДЕЛЮЄТЬСЯ.....	60
27. <i>Дука О. В., Поліщук О. С.</i> ОГЛЯД ПЕЛЕТНИХ ЕКСТРУДЕРІВ 3D-ДРУКУ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ	62
28. <i>Кирилюк О.С., Майдан П.С.</i> ПРОБЛЕМАТИКА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ШЕСТИ-ОСЬОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА.....	65
29. <i>Святушенко М., Костюк С. А.</i> МЕТОДИ ОТИМАННЯ ЗАГОТОВКИ КАРТЕРА ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА 70СС З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ.....	67
30. <i>Липка О., Костюк С. А</i> КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЦИЛІНДР ДВС З КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ».....	69
31. <i>Ступка В.Б.,Майдан П.С.</i> ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ РОБОЧОЇ РЕЧОВИНИ В ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВКАХ.....	70
32. <i>Нікітін Є.С., Павленко В.М.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ З ДВИГУНОМ СТРІЛІНГА В УМОВАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ.....	73
33. <i>Тимощук О. Г., Шевчук І.О.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	75
34. <i>Polishchuk A., Polishchuk O., Bonek M., Lisevych S., Tolstiuk A.</i> USE OF CARBON–KEVLAR FIBER BLENDS FOR MANUFACTURING PRODUCTS BY 3D PRINTING.....	78

35. Чорний В.В., Ткачук В.П., Романішина О.В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ФЛАНЕЦЬ FL-0630-0220-M05» ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	82
36. Гончар Б.В., Ткачук В.П., Романішина О.В. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ- ШЕСТЕРНЯ 5154-18-22-А» ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕРСТАТІВ З ЧПК.....	84
37. Мазур А., Горященко С.Л. ОСОБЛИВОСТІ ВАЛКОВОЇ ПАРИ МАШИНИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА МАТЕРІАЛИ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	86
38. Polishchuk A., Polishchuk O., Bonek M. SELECTION OF KEVLAR AND KEVLAR-CARBON FIBERS FOR POLYMER COM- POSITES FOR SCREW-EXTRUSION 3D PRINTING.....	88
39. Polishchuk A., Polishchuk O.P., Polishchuk O., Lisevych S., Mazurkewich A. RECYCLING OF POLYMER WASTE FROM ADDITIVE MANUFACTURING USING SMALL-SIZED CRUSHERS.....	90
40. Соломяний Є.О., Горященко К.Л. ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ РАЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	93
41. Левченко С., Горященко С.Л. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ВЗУТТЄВОЇ МАШИНИ.....	95
42. Демко А.С., Смутко С.В. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ.....	97
43. Красій М., Поліщук О., Єрій А., Лісевич С. ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНАХ ЦИКЛІЧНОГО ШИТТЯ ЛАЗЕРНИМИ МЕТОДАМИ.....	99
44. Поліщук А.О., Загуровський М.С., Поліщук О.С., Поліщук І.О., Мальярчук О.О. ОГЛЯД ЛІТТЄВИХ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ 3D ДРУКУ.....	101
45. Сухоставський В., Скиба М., Поліщук А., Поліщук О. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ FDM 3D-ДРУКУ	104
46. Скиба М., Нестерук С., Лісевич С. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОБУТОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ ЧАСТКОВОГО ЗАТІНЕННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИМІЗАТОРІВ ПОТУЖНОСТІ.....	108
47. Polishchuk O., Kuntsov O., Polishchuk A., Zahurovskiy M., Maliarchuk O. APPLICATION OF MOLDEX3D FOR ANALYZING THE FLOW OF A VISCOUS POLYMER MELT IN THE FORMING OF SHOE SOLES.....	111
48. Сергеев В. В. Кармаліта А. К. ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРЕСА З МАХОВИКОМ....	113
49. Клімко О.С., Неймак В. С., Романець Т.П. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТРІЧКОВОЇ РОЗКРІЙНОЇ МАШИНИ.....	116
50. Старичук В.В., Неймак В. С., Романець Т.П. УДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУТОВОЇ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	118
51. Шевчук В.Т., Неймак В. С., Романець Т.П. РОЗРОБКА ПОБУТОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	119
52. Яворський М., Горященко С.Л. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯ.....	121
53. Яцина Д. В. АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ ВІДХОДІВ.....	123

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАПОВНЕННЯ ПРЕС-ФОРМИ ПІДОШВИ ВЗУТТЯ В СЕРЕДОВИЩІ MOLDEX3D

Синюк О.М.
Кунцов О.Ю.

Хмельницький національний університет

Лиття полімерних матеріалів під тиском є одним з основних процесів виготовлення деталей низу взуття. Якість підошви визначається не лише властивостями полімеру, а й тим, наскільки рівномірно та повно заповнюється формотворна порожнина прес-форми. Порушення режимів лиття призводить до появи дефектів: неповне заповнення, лінії спаю, локальне «замерзання» потоку, нерівномірна усадка та короблення деталі. Тому актуальним є використання сучасних CAE-систем для попереднього аналізу процесу заповнення та оцінювання ризику дефектів ще на етапі проєктування.

Метою роботи є дослідження процесу заповнення порожнини прес-форми розплавом полімеру в програмному комплексі Moldex3D, провести аналіз просторового розподілу швидкості потоку, інтенсивності зсувних деформацій і, на основі проведеного аналізу, сформулювати рекомендації щодо вибору режимів лиття під тиском для покращення якості готового виробу.

Об'єктом моделювання є формотворна порожнина прес-форми для отримання підошви взуття з типово складним рельєфом протектора. Геометричну модель підошви побудовано в САD-системі та експортовано у формат, сумісний з Moldex3D. На етапі підготовки моделі виконано очищення поверхонь для усунення дрібних розривів і некоректних ділянок, що забезпечує коректне формування скінченно-елементної сітки.

У модулі побудови сітки Moldex3D сформовано оболонкову скінченно-елементну модель з локальним ущільненням у зонах зміни товщини та поблизу ливникових каналів. Такий підхід дозволяє точніше описати рух фронту розплаву в тонкостінних елементах підошви та в місцях переходу. Як матеріал розглядали високов'язкий полімерний розплав типу термопластичного еластомеру, характерний для деталей низу взуття. ПВХ властивості задано у вигляді ньютонівської моделі в'язкості, що залежить від температури та швидкості зсуву [1].

У модулі процесного моделювання задано температуру розплаву на вході, температуру стінок прес-форми, закон зміни тиску впорскування, тривалість стадії заповнення та витримки під тиском. Час заповнення добирали таким чином, щоб забезпечити повне заповнення порожнини без передчасного застигання фронту потоку в тонких ділянках і без надмірного перевантаження прес-форми тиском у віддалених зонах.

За результатами розрахунків отримано поле векторів швидкості потоку, розподіл застиглих областей (Frozen Layer Ratio), карту molten core, інтенсивності зсувних деформацій (Shear Rate) та в'язкості розплаву. Аналіз розподілу швидкостей показав, що максимальні значення спостерігаються поблизу ливникової системи та у вузьких перетинах, де траєкторія потоку різко змінюється, тоді як у масивніших ділянках підошви швидкість зменшується. Це призводить до нерівномірного розподілу часу перебування розплаву в порожнині та, відповідно, до різниць у ступені охолодження.

Розподіл частки застиглого шару показав, що найбільші значення зосереджені в тонких елементах та поблизу холодніших стінок прес-форми. У цих зонах існує ризик передчасного блокування потоку, що може спричинити недолив у кінцевих мікрооб'ємах порожнини. Карта molten core підтвердила, що збереження достатнього об'єму рідкої фази в товщі підошви на завершальному етапі заповнення є критичним для реалізації ефективної витримки під тиском і компенсації усадки.

Аналіз інтенсивності зсувних деформацій засвідчив наявність локальних зон з підвищеними зсувними деформаціями, які збігаються з ділянками високих швидкостей та зменшеної в'язкості. Такі області є потенційно небезпечними з точки зору термічної та механічної деградації полімеру, тому саме тут доцільно коригувати геометрію ливникової системи або

параметри процесу (температуру розплаву, швидкість упорскування). Карти в'язкості підтвердили, що надмірне охолодження стінок прес-форми в поєднанні з низькою швидкістю потоку може призвести до передчасного «замикання» перерізу й формування ліній спаю.

Отримані результати дали змогу сформулювати практичні рекомендації щодо вибору параметрів лиття під тиском: доцільно уникати надто короткого часу заповнення, який призводить до високих зсувних напружень, а також надто повільного заповнення, при якому фронт потоку суттєво охолоджується. Оптимальне поєднання температури розплаву, температури прес-форми, тиску впорскування та конфігурації ливникової системи забезпечує більш рівномірний розподіл швидкості, зменшує частку застиглого шару в небезпечних ділянках і знижує ймовірність дефектів заповнення.

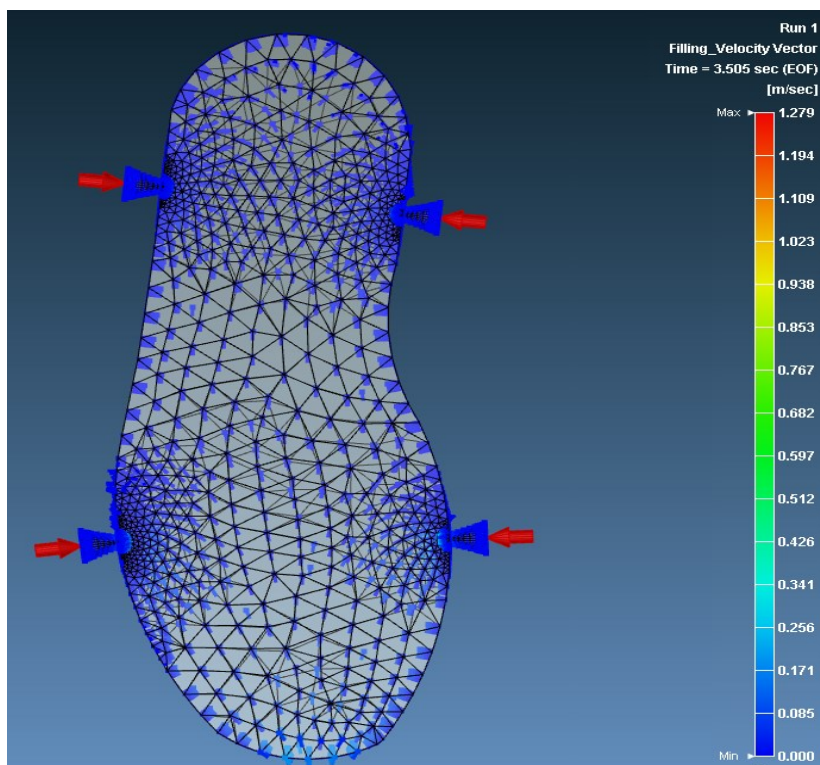


Рис.1. Поле векторів швидкості потоку під час заповнення формотворної порожнини підошви в Moldex3D

Висновки. Застосування програмного комплексу Moldex3D для моделювання процесу заповнення прес-форми підошви взуття дозволяє візуалізувати просторовий розподіл швидкості, товщини застиглого шару, інтенсивності зсувних деформацій та в'язкості в порожнині форми; виявити зони потенційного виникнення недоливу, ліній спаю та ділянок з надмірними зсувними навантаженнями; на етапі проєктування прес-форми коригувати конструкцію ливникової системи та режими лиття під тиском без виготовлення експериментальних прес-форм, що скорочує терміни підготовки виробництва та підвищує якість полімерних деталей низу взуття.

Перелік джерел посилань

1. Синюк О., Поліщук О., Кунцов О. Моделювання процесу заповнення в'язкою рідиною порожнини прес-форми для лиття деталей взуття // Вісник ХНУ. – 2024. – № 3, Т. 1. – С. 472–479.
2. Wang M.-L., Chang R.-Y., Hsu C.-H. Molding Simulation: Theory and Practice. – Hanser, 2022. – 532 p.
3. Kazmer D. O. Injection Mold Design Engineering. – 2nd ed. – Hanser Publications, 2016. – 529

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТРИЛАНКОВОГО МІНІ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

**Питлик Н.А.
Корецька Л.О.
Соколан Ю.С.**

Хмельницький національний університет

В деяких галузях промисловості використання роботів-маніпуляторів достатньо обмежене по причині невеликих об'єктів та обмеженого простору роботи. В таких випадках неможливо використовувати роботи-маніпулятори типових габаритних розмірів, а роботизація таких технологічних процесів потребує спеціалізованих міні роботів. До таких галузей відносяться фармацевтика, медицина, проведення лабораторних досліджень [1].

Для виконання таких специфічних задач та для роботи із об'єктами, вага яких становить менше 70 г, було розроблено модель триланкового міні робота-маніпулятора (рис. 1). CAD-модель була створена в Autodesk Inventor [2], виготовлення такого робота передбачено за технологією 3D-друку [3]. Експлуатація триланкового міні робота-маніпулятора потребує наступного обладнання: мікроконтролера Arduino, одного мікросервоприводу Tower Pro SG90 для керування захватом та трьох сервоприводів моделі MG996R, Bluetooth модулю PM-10 для можливості керування через мобільний додаток, ІЧ датчику Sharp GP2Y0A41SK0F для виявлення об'єктів в полі роботи, а також ряду додаткового обладнання, до яких можна віднести макетну плату, потенціометри WH148 B10K та кабелі з'єднання.



Рис. 1. Модель триланкового міні робота-маніпулятора

Для керування роботом-маніпулятором через мобільний додаток з телефону за допомогою підключення до Bluetooth було розроблено алгоритм керування, який показаний на рисунку 2. Для розробки мобільного додатку використовувався MIT App Inventor [4], в якому було створено інтерфейс мобільного додатку та блоки керування положенням триланкового міні робота-маніпулятора (рис. 3).

Після того, як було виконано моделювання роботи триланкового міні робота-маніпулятора та розроблено мобільний додаток для керування ним, також було зібрано прототип (рис. 4, а) такого робота та перевірено його роботу при виконанні задачі розпізнавання об'єкту за допомогою ІЧ датчику, виконання захвату об'єкту та переміщення об'єкту з однієї точки на поверхні в іншу.

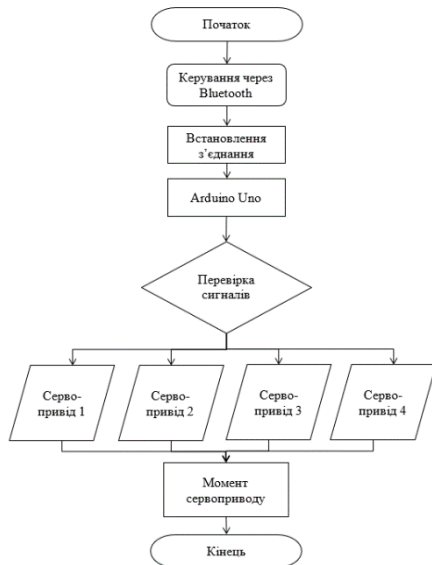


Рис. 2. Блок-схема керування роботом-маніпулятором через підключення по Bluetooth

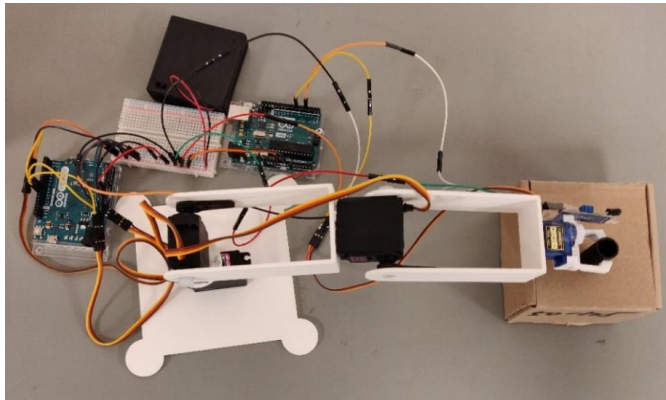
```

when Slider2 . PositionChanged
thumbPosition
do set Label2 . Text to round Slider2 . ThumbPosition - 2000
call BluetoothClient1 . Send2ByteNumber
number round Slider2 . ThumbPosition

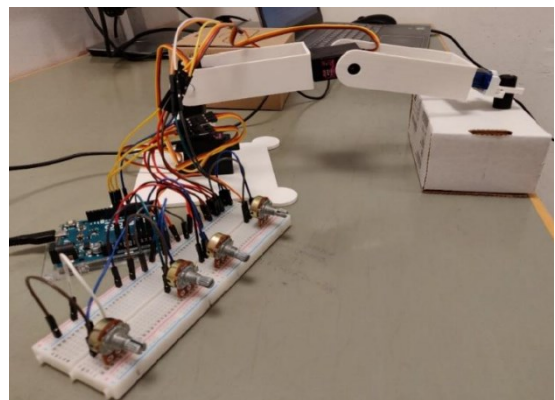
when Slider3 . PositionChanged
thumbPosition
do set Label2 . Text to round Slider3 . ThumbPosition - 3000
call BluetoothClient1 . Send2ByteNumber
number round Slider3 . ThumbPosition

when Slider4 . PositionChanged
thumbPosition
do set Label2 . Text to round Slider4 . ThumbPosition - 4000
call BluetoothClient1 . Send2ByteNumber
number round Slider4 . ThumbPosition
  
```

Рис. 3. Програмний код мобільного додатку для керування положенням робота-маніпулятора



а)



б)

Рис. 4. Прототип триланкового міні робота-маніпулятора: а – з керуванням через мобільний додаток; б – з ручним керуванням

Крім того, в триланковому міні роботі-маніпуляторі передбачено можливість керування його роботою у ручному режимі за допомогою потенціометрів (рис. 4 б).

Такі роботи-маніпулятори можуть використовуватись для виконання робіт із дрібними об'єктами, а також в агресивному та небезпечному для людини середовищі. Крім того використання роботів-маніпуляторів невеликих розмірів доцільно використовувати при підготовці майбутніх фахівців в сфері робототехніки, оскільки вони зберігають всі типові функції, але не займають багато місця в навчальних аудиторіях.

Перелік джерел посилань

1. Основи автоматики та робототехніки: навчальний посібник / А.М. Гуржій та ін. Дніпро: «Гарант СВ», 2021. 243 с.
2. Донченко М.В. Технології комп'ютерного проектування: навчальний посібник. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 364 с.
3. Манжілевський О.Д., Іскович-Лотоцький Р.Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2021. 106 с.
4. Цирульник С.М. MIT App Inventor: Створення Android-додатку лабораторного практикуму без програмування. *Open educational e-environment of modern University*, № 4 (2018). с. 91-95

ЕКОНОМІКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ РОБІТНИЧИХ ПРОФЕСІЙ

Боровик Н.В.

Державний навчальний заклад «Лісоводський професійний аграрний ліцей»

Боровик Д.О.

Хмельницький національний університет

Розглянуто економічні аспекти енергозбереження в контексті професійної діяльності робітничих професій, що здобуваються у закладах професійно-технічної освіти. Показано, що раціональне використання енергоресурсів сприяє зниженню витрат підприємств, підвищенню конкурентоспроможності продукції та формуванню «зеленої» економіки. Особливу увагу приділено практичним прикладам енергоефективних рішень у сферах харчового виробництва, легкої промисловості, будівельних робіт, транспорту та сільського господарства. Зроблено висновок, що енергозбереження є важливим елементом професійної культури майбутніх фахівців і визначає їхню цінність на сучасному ринку праці.

Сучасна економіка перебуває у стані постійних змін, що зумовлені глобалізацією, технологічним прогресом та екологічними викликами. Одним із ключових напрямів розвитку є енергозбереження, яке поєднує економічні та екологічні інтереси суспільства. Для України, де значна частина енергоресурсів імпортується, питання раціонального використання енергії має стратегічне значення.

У закладах професійно-технічної освіти підготовка робітничих кадрів повинна враховувати сучасні вимоги до енергоефективності. Майбутні кухарі; кондитери, кравці, електрозварники ручного зварювання, ковалі ручного кування, водії автотранспортних засобів, трактористи-машиністи сільськогосподарського виробництва, слюсарі з ремонту сільськогосподарських машин та устаткування, штукатурки та плиточники мають усвідомлювати, що їхня професійна діяльність безпосередньо впливає на економічні показники підприємства та рівень енергоспоживання.

Теоретичні засади енергозбереження.

Енергозбереження можна розглядати як економічну категорію, що включає:

- оптимізацію виробничих процесів;
- модернізацію обладнання;
- впровадження інноваційних технологій;
- раціональне використання природних ресурсів.

На макроекономічному рівні енергоефективність сприяє зменшенню витрат держави на енергетичний сектор, знижує залежність від імпорту енергоносіїв та підвищує стійкість економіки до коливань світових цін. На мікроекономічному рівні підприємства отримують можливість зменшити собівартість продукції, підвищити її рентабельність та конкурентоспроможність.

Практичні аспекти енергозбереження у професіях.

Харчове виробництво (кухар, кондитер)

- Використання енергоефективних плит, печей та холодильників класу «А++».
- Планування процесів приготування страв для зменшення витрат газу та електроенергії.

- Раціональне використання води та тепла у виробничих приміщеннях.

Легка промисловість (кравець)

- Використання сучасних швейних машин та прасок з низьким енергоспоживанням.
- Організація робочого місця з LED-освітленням.
- Оптимізація виробничого часу для уникнення простоїв обладнання.

Металообробка (електрозварник ручного зварювання, коваль ручного кування)

- Використання інверторних зварювальних апаратів, що споживають менше електроенергії.

- Раціональне планування робіт для уникнення холостих витрат.
- Використання якісних матеріалів, що зменшує кількість повторних операцій.

Транспорт і сільське господарство (водій автотранспортних засобів, тракторист-машиніст сільськогосподарського виробництва, слюсар з ремонту сільськогосподарських машин та устаткування)

- Економія пального завдяки правильному стилю водіння.
- Регулярне технічне обслуговування двигунів та машин.
- Використання GPS-навігації для оптимізації маршрутів.
- Вчасне обслуговування сільськогосподарської техніки для зменшення аварійних витрат.

Будівельні професії (штукатур, плиточник)

- Використання сучасних інструментів з низьким енергоспоживанням.
- Раціональне планування робіт для уникнення простоїв.
- Використання якісних матеріалів, що зменшує витрати енергії на переробку.

Економічні вигоди енергозбереження:

- зменшення витрат підприємств на енергію;
- підвищення продуктивності та конкурентоспроможності;
- зниження екологічних ризиків та витрат на ліквідацію наслідків забруднення;
- формування нових ринків та робочих місць у сфері «зеленої» економіки.

Висновки. Енергозбереження є важливим елементом сучасної економіки та професійної діяльності. Для майбутніх фахівців робітничих професій воно має подвійне значення: з одного боку — це економія ресурсів підприємства, з іншого — підвищення їхньої професійної цінності на ринку праці. Формування культури енергоефективності у закладах професійно-технічної освіти сприяє розвитку відповідального ставлення до ресурсів, підвищує конкурентоспроможність випускників та забезпечує сталий розвиток економіки України.

Перелік джерел посилань

1. Мірошник О.О. Моделі та методи підтримки прийняття рішень в системі керування якістю процесу розподілу електричної енергії. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. (2015) URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/352bf5d1-5a72-49e1-afde-39336d268e46/content>
2. Оцінка ризиків при інтеграції відновлюваних джерел енергії до системи електропостачання/ В.А. Степаненко, А.І. Замулко, Ю.А. Веремійчук, В.Ф. Находов // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022.№ 2. 2 (2022): с. 64-74 URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/261372>
3. Кареева Н.В., Войтно С.В., Сорокіна Л.В. Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики: інформаційна підтримка прийняття рішень: навчальний посібник/ Н.В. Кареева, С.В. Войтно, Л.В. Сорокіна. – К.: Альфа Реклама, 2013. – 308 с.
4. Мірошник О. О. Аналіз методів оцінки якості електричної енергії в розподільних мережах в умовах невизначеності. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 175 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». 2016. С. 14-16.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ІМПРЕГНУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ: ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Єрій А.
Синюк О.М.

Хмельницький національний університет

В сучасних умовах підвищених вимог до експлуатаційних характеристик текстильних матеріалів виникає потреба в якісному підборі методів імпрегнування тканин, оскільки, від якості обробки залежать такі властивості як: вогнезахист, гідрофобність, олеофобність, гідрофільність, антимікробні, фунгіцидні, антиалергенні, статико-електричні, м'якість, антизминання, стабілізація розміру, фарбування (стійкість та якість покриття), укріплення та стабілізація матеріалу, ультрафіолетовий захист [1].

Для імпрегнування матеріалів використовується ряд різного технологічного устаткування та методів принцип роботи яких полягає у використанні різних взаємопов'язаних фізичних, термічних та хімічних явищ. Незважаючи на високий рівень розвитку галузі чітка класифікація методів імпрегнування, яка враховує особливості технологічного устаткування, що застосовується відсутня.

У зв'язку з цим, пріоритетним науково-технічним завданням стає дослідження та порівняльний аналіз методів обробки текстильних матеріалів в основі яких лежить принцип надання додаткових властивостей, або поліпшення існуючих шляхом внесення реагентів в товщу текстильного матеріалу.

Задля реалізації завдання авторами [1] виконано всебічний аналіз існуючого технологічного устаткування на основі чого виокремлено методи обробки, здійснено їх систематизацію та порівняльний аналіз їх ефективність. Авторами підсумовано технологічних можливостей сучасного обладнання галузі, а також виокремлення найперспективніших з них.

Проаналізувавши технологічне устаткування, що використовується для обробки матеріалів [1] можна класифікувати методи обробки за таким принципом:

Метод занурення – традиційний метод імпрегнування текстильних матеріалів ґрунтується на повному зануренні тканини у ванну з імпрегнатом [2]. Процес відбувається при контрольованій температурі протягом визначеного часу. Після просочення матеріал віджимають для видалення надлишкової рідини та висушують у термічних установках.

Метод наплення ґрунтується на механічному нанесенні імпрегуючого розчину у вигляді дрібнодисперсного аерозолу на поверхню тканини [3]. Розчин подається під тиском через пневматичні, безповітряні або ультразвукові форсунки, що забезпечує рівномірне осідання крапель на волокнах.

Метод накатки є однією з найбільш поширених технологій імпрегнування текстильних матеріалів у безперервних виробничих лініях [4]. Його суть полягає у частковому зануренні тканини в імпрегнаційний розчин із подальшим пропусканням між парою притискних валків, які регулюють ступінь насичення та забезпечують рівномірний розподіл реагенту по структурі матеріалу.

Метод пін-апретури є сучасною технологією, що базується на використанні пінистої форми імпрегуючого розчину [5]. Процес полягає у створенні стабільної, однорідної піни за допомогою спеціальних піноутворювачів, яку наносять на одну або обидві сторони тканини. Піна поступово руйнується, вивільняючи активні компоненти, які рівномірно осідають на волокнах.

Вакуумне просочування – це високоефективний метод імпрегнації, що базується на використанні різниці тисків для глибокого проникнення реагентів у структуру волокон [6]. Суть процесу полягає у видаленні повітря з пор матеріалу у вакуумній камері, після

чого в систему подається імпрегуючий розчин під тиском. Завдяки цьому забезпечується повне та рівномірне насичення навіть щільних або багатошарових текстильних структур.

Вібраційний метод імпрегуювання текстильних матеріалів є перспективною технологією, що базується на використанні механічних коливань для покращення проникнення рідин у пори волокон [7]. Під дією вібрацій у середовищі виникає додатковий вібраційний тиск, який залежить від частоти та амплітуди коливань і сприяє інтенсифікації масообміну. Оптимальні режими, зокрема частота близько 20 кГц і амплітуда 20 мкм, забезпечують високу ефективність процесу при помірних енерговитратах.

Ультразвуковий метод імпрегуювання текстильних матеріалів ґрунтується на використанні кавітаційних процесів, що виникають під дією ультразвукових хвиль у рідкому середовищі [8]. Випромінювання з частотою 20–40 кГц створює мікрокавітаційні бульбашки, які при колапсі генерують локальні імпульси тиску та мікрострумені. Ці ефекти сприяють руйнуванню поверхневих бар'єрів, витісненню повітря з пор і поглибленню дифузії імпрегнатів у структуру волокон.

Плазмовий метод імпрегуювання текстильних матеріалів є інноваційною технологією «сухої» поверхневої модифікації, що базується на дії іонізованого газу (плазми) на волокна без використання рідких реагентів [9]. У процесі обробки (вакуумним, атмосферним або діелектрично-бар'єрним розрядом) під дією електричного поля відбувається утворення електронів, йонів та радикалів, які модифікують поверхню волокон, формуючи активні функціональні групи. Це забезпечує покращення адгезії, змочуваності та реакційної здатності текстилю.

Електрофоретичне осадження є сучасним методом імпрегуювання текстильних матеріалів, який базується на керованому русі заряджених частинок у електричному полі [10]. Тканину занурюють у колоїдний розчин наночастинок, полімерів або функціональних добавок, після чого між електродами створюється різниця потенціалів. Під дією електричного поля заряджені частинки переміщуються до протилежно зарядженої поверхні волокон, утворюючи тонке, рівномірне та міцно адгезоване покриття.

Проаналізувавши ряд технологічного устаткування та методів обробки, виокремлено три основні вітки на основі яких можна формувати класифікацію методів просочування тканин імпрегуючими речовинами.

Розроблену на основі аналізу технологічного устаткування, багаторівневу класифікацію методів імпрегуювання наведено на рисунку 1.

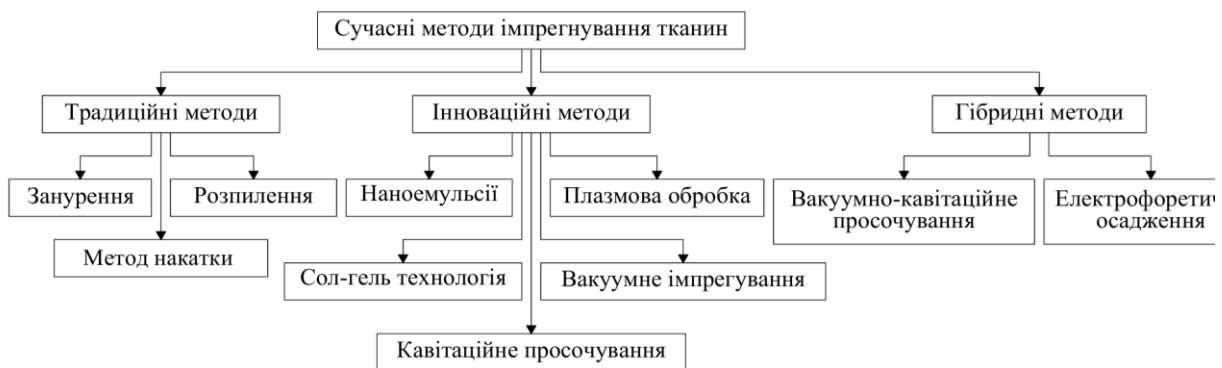


Рис.1. Класифікація методів імпрегуювання текстильних матеріалів

Проаналізувавши методи обробки, встановлено, що до найефективніших інноваційних методів належить – ультразвукова кавітація, яка забезпечує глибоке проникнення імпрегнатів завдяки мікроударним хвилям, що розширюють пори волокон [1].

Окремо можна стверджувати, що інноваційні методи імпрегуювання мають потенціал у підвищенні функціональності текстильних матеріалів, зокрема у галузях спецодягу, авіабудування, інтер'єрного текстилю.

Результатом виконання дослідницької роботи є класифікація сучасних методів імпрегнування текстильних матеріалів під час формування якої було проаналізовано існуючі методи обробки тканин, здійснено порівняльний аналіз ефективності просочування тканин імпрегнатами.

Перспективним та малодослідженим напрямком розвитку технологій імпрегнування текстильних матеріалів є метод який базується на принципі застосування кавітаційного ефекту, тому існує необхідність у подальшому вивченні методу та його впровадженні в технологічні процеси текстильних виробництв.

Перелік джерел посилань

1. Дослідження сучасних методів та технологічного устаткування для імпрегнування текстильних матеріалів / О. М. Синюк, А. В. Єрій. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2025. № 5.1.
2. Repon M. R., Islam T., Sadia H. T., Mikučionienė D., Hossain S., Kibria G., Kaseem M. Development of antimicrobial cotton fabric impregnating AgNPs utilizing contemporary practice // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – Article No. 1413. – URL: <https://doi.org/10.3390/coatings11111413>(date of access: 25.05.2025).
3. Malucelli Giulio. Sol-Gel and Layer-by-Layer Coatings for Flame-Retardant Cotton Fabrics: Recent Advances / Giulio Malucelli // *Coatings*. – 2020. – Vol. 10, No. 4. – P. 333. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/coatings10040333>(дата звернення: 08.05.2025).
4. Method and apparatus for controlling the impregnation of textiles: U.S. Patent No. 2,177,323. – Patented Oct. 24, 1939. – Washington, DC : U.S. Patent and Trademark Office. – 6 p. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/d9/7f/82b379127ef871/US2177323.pdf>(date of access: 01.06.2025).
5. Baker K.L., Bryant G.M., Kelsey W.B. Foam Finishing Technology // *Journal of the Textile Institute*. – 1982. – Vol. 52, No. 6. – P. 231–240. – <https://doi.org/10.1177/004051758205200607>(дата звернення: 08.05.2025).
6. Patent DE 2253966 A1 (Germany), Noethiger O. Device for impregnating a textile track / Ciba Geigy AG. – 1974. – Published 11.04.1974. – Available at: <https://patents.google.com/patent/DE2253966A1/en>(accessed: 01.06.2025).
7. Сілін Р. І., Гордєєв А. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : монографія / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с
8. Gedanken A., Nitzan Y., Perelshtein I., Perkas N., Applerot G. Sonochemical coating of textiles with metal oxide nanoparticles for antimicrobial fabrics [Електронний ресурс] : пат. US 9315937 B2 / винахідники Aharon Gedanken, Yeshayahu Nitzan, Ilana Perelshtein, Nina Perkas, Guy Applerot ; заявник Bar Ilan University. – США. – Опубл. 19.04.2016. – No US9315937 B2. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US9315937B2/en>(дата звернення: 08.05.2025).
9. Plasma treatments for coloration of textiles [Електронний ресурс] : пат. WO2015088920A1 / винахідники Justin Lee Gladish, Mary-Ellen Smith, Graham C. Page; заявник The North Face Apparel Corp. – WIPO (PCT). – Опубл. 18.06.2015. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/WO2015088920A1/en>(дата звернення: 01.06.2025).
10. Kimbrell W. C., Jr., Kuhn H. H. Electrically conductive textile materials and method for making same : patent CA1330024C / W. C. Kimbrell, Jr., H. H. Kuhn; Milliken Research Corp. – Canada. – No CA1330024C; заявл. 11.07.1988; опубл. 07.06.1994. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CA1330024C/en>(дата звернення: 01.06.2025).

**ПРОБЛЕМАТИКА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИМІЩЕННЯ
В СЕРЕДОВИЩІ PROTEUS**

**Пеньковий П.Р.
Сельський А.А.
Макаришкін Д.А.**

Хмельницький національний університет

Нині в усіх галузях промисловості, з метою оптимізації, уніфікації та зниження витрат, відбувається переведення реалізації технологічних процесів (ТП) на автоматичні та автоматизовані системи (АС). Це в свою чергу надасть можливість мінімізувати людські та матеріальні трудовитрати, а також знизити рівень впливу людського фактору.

Проте, за достатньо високого рівня автоматизації, з урахуванням часових витрат на реалізацію конкретних функціональних завдань, на перший план виходять актуальні проблеми можливості розпаралелювання виконуваних ТП та черговості (тобто пріоритетності) виконання функцій.

В сучасному житті спостерігається повсюдне використання мікроконтролерів (МК), можна сказати майже всі сучасні електронні системи побудовані із застосуванням технології МК. Без них абсолютно немислимі сучасні промислова та побутова техніка, засоби зв'язку тощо [5].

Через вплив комп'ютеризації з'явилася велика кількість спеціалізованих програм-симуляторів, що замінюють реальні радіодеталі та реальні прилади спеціальними віртуальними моделями. Це необхідно для того, щоб розкрити всі можливі помилки чи брак виготовлення або навіть відхилення параметрів комплектуючих. Під час розроблення та розрахунку схеми повинна бути сформована модель розроблюваного пристрою, яка несе в собі цілу низку спрощень та припущень. Коли ж пристрій реалізується «в металі», стають помітні відмінності реального виробу від моделі. Процес налаштування дозволяє користувачу примирити між собою реальний виріб та модель це виконується для того, щоб врахувати вплив усього того, що в силу різних причин не потрапило в розрахунок. Комп'ютерна модель використовується для позбавлення від численних експериментів і складних розрахунків та надає можливість виявити не лише грубі помилки, а деякі нюанси. Моделювання схеми на ПК знизить трудомісткість налаштування, але все одно, реальність внесе певні корективи, оскільки як будь-яка комп'ютерна модель, це по суті спрощення реального життя.

Необхідно чітко розуміти, що моделювання електронних пристроїв із використанням спеціалізованих пакетів програм схмотехнічного аналізу містить у собі декілька етапів:

- визначення завдань моделювання;
- аналіз схеми, що моделюється, розкладання її на певні функціональні вузли та вибір припущень для спрощення;
- побудова моделі пристрою з урахуванням припущень;
- проведення розрахунку згідно із моделлю та аналіз отриманих результатів;
- максимально можливе наближення моделі до схеми реального пристрою, отримання остаточних результатів та аналіз результатів.

Однією з прикладних програм, що дають змогу моделювати електричну схему, є, наприклад, PROTEUS VSM [1-3], розроблена фірмою Labcenter Electronics на основі ядра SPICE3F5 університету Berkeley. Proteus Professional [1-3] - пакет програм для автоматизованого проектування саме електронних схем. Пакет являє собою спеціалізовану систему схмотехнічного моделювання, що базується на основі моделей електронних компонентів, прийнятих у середовищі PSpice. Відмінною рисою пакета Proteus Professional [1-3] є можливість моделювання роботи програмованих пристроїв, таких як: МК, мікропроцесорів та

інше. Додатково до пакета Proteus Professional [1-3] входить система проєктування друкованих плат. Proteus Professional [1-3] може симулювати роботу наступних МК: ARM7, AVR, 8051, PIC, Motorola, Basic Stamp. Бібліотека компонентів містить необхідні довідкові дані. У «сферу впливів» PROTEUS VSM [1-3] входять як найпростіші аналогові пристрої, так і складні системи, створені на популярних сімействах МК. У відкритому доступі є велика бібліотека моделей елементів, поповнювати яку може сам користувач. Достатній набір інструментів і функцій, серед яких амперметр, вольтметр, осцилограф, моделі генераторів, здатність налаштовувати роботу генераторів, здатність налаштовувати ПЗ для МК, роблять PROTEUS VSM [1-3] хорошим помічником розробнику електронних пристроїв.

Proteus VSM [1, 2] складається з двох самостійних підпрограм: ISIS та ARES. ARES - це спеціалізований трасувальник друкованих плат із можливістю створення власних бібліотек корпусів, основною програмою моделювання є саме підпрограма ISIS.

Розглянемо процес створення проєкту. Спочатку відбувається вибір із глобальної бібліотеки всіх необхідних компонентів, які будуть задіяні в схемі, яка розробляється. У глобальній бібліотеці всі елементи розділені на декілька груп: оптоелектричні та механічні елементи, мікропроцесори, опори тощо, тому знайти необхідний елемент досить просто. Після того, як усі необхідні компоненти обрано, виконується встановлення в робочу зону і з'єднання проводами згідно схеми. Коли схема зібрана, треба під'єднати джерела живлення і заземлення за необхідності.

Усі наші схеми, що розробляються, містять у складі МК. Організація роботи сімейства МК у межах пакета Proteus [1-3] досить проста. Спочатку необхідно створити hex-файл за допомогою будь-якої IDE, наприклад, uVision4 [4], і завантажити його у МК за допомогою контекстного меню. Потім виконується запуск проєкту, тобто подається живлення на схему, що розробляється. Якщо в схема розташовані будь-які індикатори, то після підключення живлення вони почнуть відображати інформацію в реальному режимі часі. Також можливо виконати симуляцію натискання кнопок. Тобто, пакет моделювання Proteus [1-3] надає можливість без складання реального пристрою налагодити роботу створеної схеми, відшукати можливі помилки, отримані на стадії проєктування, зняти необхідні технічні характеристики, але не варто пам'ятати, що це всього лише модель, а не реальний фізичний пристрій.

Інструменти розроблення та налаштування програм дають змогу використовувати їх для створення мікропроцесорних СК, а також надають можливість відшукати більшість наявних помилок ще на стадії моделювання СК. Крім цього, подібне ПЗ надає можливість аналізувати схеми шляхом розкладання її на функціональні вузли та проводити необхідні математичні розрахунки.

На підставі виконаного огляду та аналізу ми зробили висновки про те, що розглянуте ПЗ підходить для моделювання роботи різних типів мікропроцесорних СК.

Перелік джерел посилань

1. Проєктування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів курсу "Проєктування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами". Медвідь В.Р., Пісцьо В.П., Тернопіль: ТНТУ, 2018 - 26 с.

2. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи : Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.О. Новацький. – Електронні текстові дані (1 файл: 18.983 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 247 с.

3. В.В. Макаренко Моделювання та аналіз цифрових схем / Макаренко В.В., Маланчук Є.З., Рудик А.В., Співак В.М. – Рівне: НУВГП, 2017. – 454 с.

4. Integrated Development Environment (IDE) uVision4. [Електронний документ] - Режим доступу: <https://www.keil.com/download/>

5. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с. ISBN 978-966-2007-12-1.

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛООВОГО УСТАТКУВАННЯ В ЗАКЛАДАХ
РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА****Гурна І.І.***Державний навчальний заклад «Лісоводський професійний аграрний ліцей»*

Тенденція до модернізації закладів ресторанного господарства характерна для багатьох міст України. Потреба в переоснащенні підприємств громадського харчування сучасним тепловим обладнанням піднімає актуальні питання: "Яким виробникам варто віддати перевагу і яке саме обладнання краще купити?" Якщо з вибором виробників все досить просто (компанія DSTO пропонує виключно якісне та надійне обладнання для підприємств громадського харчування від провідних світових брендів), то вибір конкретних апаратів вимагає знайомства з класифікацією теплового обладнання і особливостями різних його видів.

Сучасні заклади ресторанного господарства (ЗРГ) здійснюють свою діяльність в умовах жорсткої конкуренції. Окрім багатьох інших факторів, саме якість та різноманітність меню відіграють вирішальну роль у досягненні успіху підприємства в ресторанному бізнесі. Тенденцією останніх років є організація на підприємствах харчування відкритої кухні або шоу-кухні, тобто виробничої зони, видимої для відвідувачів. Ефект від такої презентації виробничого процесу підсилюється безпосереднім спостереженням гостей за роботою кухарів з використанням сучасного технологічного устаткування. Вибір виробничого устаткування є одним з найважливіших факторів, що впливають на якість готової страви. У закладах ресторанного господарства використовують механічне, теплове, холодильне, торговельне, допоміжне устаткування. Раціональний підбір обладнання – ключ до ефективної роботи будь-якого закладу [1]. Теплове оброблення продуктів харчування – основний технологічний процес приготування їжі. Тому теплове устаткування завжди займає перші позиції в списку необхідного устаткування для підприємств ресторанного господарства. У вітчизняних та закордонних закладах ресторанного господарства використовуються різноманітні способи теплового оброблення, основними з яких є: варіння, смаження, тушкування, запікання, випікання, висушування. Теплові процеси спричиняють певні хімічні зміни в продуктах.

Так, під час теплового оброблення білки тваринного і рослинного походження піддаються денатурації, крохмаль клейстеризується, структура продуктів стає м'якшою. Утворюються нові смакові сполуки, які стимулюють секрецію травних соків, що в результаті покращує процес засвоєння їжі організмом, забезпечується знищення більшості бактерій. Проте, одночасно з позитивною дією теплове оброблення викликає й негативні зміни: руйнуються окремі поживні речовини (вітаміни, ароматичні речовини), втрачається природний колір продуктів. Тому таким важливим є застосування устаткування, що зберігає смак, поживні речовини і воду та надає страві привабливого зовнішнього вигляду [2; 4].

Гарячий цех є невидимим структуроутворюючим елементом ЗРГ, а теплове устаткування, що розміщене в ньому, формує основу іміджу успішного підприємства, оскільки від ефективності його роботи залежить якість страв та напоїв. Класифікацію сучасного теплового устаткування за різними ознаками наведено в таблиці 1. Сучасні ЗРГ, залежно від типу та концепції, широко використовують спеціалізоване теплове устаткування. За функціональним призначенням його поділяють на види: варильне, жарильно-пекарське, водонагрівальне.

До конструкцій теплових апаратів висуваються певні вимоги: експлуатаційні, конструктивні, економічні, техніки безпеки та санітарії, естетичні, ергономічні тощо. Власники та керівники сучасних підприємств ресторанного господарства, після визначення типу та розробки концепції закладу, затвердження асортименту страв у меню, значну увагу приділяють плануванню розміщення виробничих цехів (зон) та їх компонуванню – раціональному розміщенню обладнання та робочих місць з урахуванням технологічних, санітарно-

гігієнічних та ергономічних вимог. Сучасні заклади ресторанного господарства використовують широкий спектр теплового устаткування, яке дозволяє готувати різноманітні страви швидко, ефективно та з високою якістю [3].

Основні типи теплового устаткування: плити (газові, електричні, індукційні); котли стравоварильні; сковороди електричні, поверхні для смаження; шафи (жарові, пекарські, розстійні); печі (конвекційні, ротаційні, подові, для піци, пароконвектомати, печі на дровах (хоспери)); грилі (контактні, барбекю, для курей); водонагрівачі; марміти; дегідратори; спеціалізоване устаткування (фритюрниці, вафельниці, млинниці, рисоварки, тостери, коптильні, чебуречниці, сосисковарки, макароніварки, апарати для пончиків та ін.) [2; 5].. Сучасне теплове устаткування є невіддільною частиною ефективного функціонування закладів ресторанного господарства. Його використання впливає на всі етапи організації виробничих процесів – від планування роботи закладу до обслуговування споживачів. Інновації у сфері устаткування для закладів ресторанного господарства суттєво змінюють підходи до організації виробництва

Сучасний ринок пропонує широкий асортимент обладнання різного функціонального призначення, вартості та рівня якості, тому постає потреба в науково обґрунтованих рекомендаціях щодо його вибору. Водночас, значна частина підприємців, які прагнуть розвиватися в цій сфері, не мають відповідної фахової підготовки, що ускладнює процес підбору устаткування під час проектування закладу. Високі вимоги до технологічного процесу в ресторанному бізнесі потребують використання надійного, безпечного та енергозберігаючого устаткування.

До тих пір, поки ви особисто не зіткнетесь з необхідністю вибрати і купити теплове обладнання для підприємств громадського харчування, а саме - шкільній їдальні, навряд чи ви задумаетесь про складність даного питання. Професійне обладнання для закладів громадського харчування вимагає особливого скрупульозного підходу, адже в зв'язку з обсягами готується щодня їжі вся техніка буде піддаватися в рази вищою навантаженні, ніж в звичайних столових або кафе. Вимоги ж до якості готування тут найвищі. Ось чому ціна на теплове обладнання для шкільної їдальні в спеціалізованих магазинах - це аж ніяк не основний критерій вибору. Ключові вимоги до подібній техніці зовсім інші:

- зручність і простота в експлуатації;
- надійність і зносостійкість;
- пожежна безпека;
- гігієнічність, легкість в догляді;
- продуктивність, відповідна сучасним вимогам;
- відсутність негативного впливу канцерогенних речовин.

Універсальні рішення для закладів громадського харчування - надійне і практичне теплове обладнання

Промислові плити для підприємств громадського харчування. Будь-яка професійна кухня починається з плити. Вибираючи, яку саме модель купити на сторінках каталогу, спочатку визначитеся з типом - електрична настільна плита, модель з духовкою або на підставці. У всіх цих варіантів є загальні характеристики - легкість установки, комфорт і безпеку в експлуатації. Характеристики, на яких слід акцентувати увагу при покупці, такі:

- потужність промислової плити;
- габаритні розміри виробу;
- комплектація і додаткові функції (наявність духовки, режиму конвекції або парувлажнення істотно впливає на підсумкову ціну агрегату);
- тип поверхні і особливості нагріву (суцільна сталева поверхня, що максимально зручно для переміщення каструль і сковорідок, або конфорочна з Теном).

Пароконвектомати. Відносна дорожнеча цього передового теплового обладнання для шкільної їдальні цілком і повністю виправдана його неперевершеними властивостями:

- відмінною продуктивністю;
- простотою у використанні і довговічністю;

- високою якістю теплової обробки;
- економним споживанням електроенергії;
- надійністю і безпекою.

Пароконвектомати для шкільної їдальні дозволяють звести до мінімуму частку ручної праці і витрати часу на приготування багатьох страв, включаючи випічку. Моделі, що працюють в комбінованому режимі, готують їжу, обсмажуючи її гарячим повітрям або впливаючи паром. Обидва види обробки - кращий вибір для приготування дитячого харчування, оскільки виключають всі негативні моменти традиційних методів смаження.

Пекарські та жарочні шафи. Дане промислове обладнання для теплової обробки стане незамінним в шкільних їдальнях, оскільки дозволяє працювати з різними видами сирувони. Духовку стане в нагоді і в невеликому харчоблоці школи, і у величезній шкільній їдальні. Основні якості жарочних шаф:

- висока продуктивність;
- довговічність;
- функціональність;
- естетична привабливість і здатність чудово вписуватися в будь-які інтер'єри;
- компактність і мобільність.

Якщо порівнювати духовку з пароконвектоматів, то потрібно зазначити, що настрійка шафи набагато простіше і зрозуміліше. Готувати в духовці можна буквально все: рибу, м'ясо, овочі, каші, напівфабрикати і т. д.

Пекарські шафи, в свою чергу, - оптимальний вибір для шкільної їдальні, де є потреба в безперебійному випуску випічки з будь-яких видів тіста (від листового і дріжджового до заварного і бісквітного). Крім того, в них можна випікати лаваш і, звичайно, піцу, яка у школярів користується просто величезним попитом.

Постановка проблеми. Сучасне теплове устаткування відіграє, без перебільшення, значну роль у діяльності підприємств ресторанного бізнесу. Водночас, значна частина підприємців, які прагнуть розвиватися в цій сфері, не мають відповідної фахової підготовки, що ускладнює процес підбору устаткування під час проектування закладу. Високі вимоги до технологічного процесу в ресторанному бізнесі потребують використання надійного, безпечного та енергозберігаючого устаткування.

Перелік джерел посилань

1. Братіцел М. Л., Даниленко О. В., Красовський С. О. Трансформація підходів до забезпечення ефективності використання устаткування в закладах ресторанного бізнесу. Економіка та суспільство. 2023. № 55. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-37> (дата звернення: 15.07.2025).
2. Доценко В. Ф., Губеня В. О. Устаткування закладів ресторанного господарства: підручник. Київ : Кондор, 2020. 636с.
3. Золотухіна І. В., Слащева А. В. Використання оцінки конкурентоспроможності в підборі устаткування для сушіння у закладах ресторанного господарства. Центральноросійський науковий вісник. Економічні науки, 2024. Вип. 11(44). С. 27–34. DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11\(44\).27-34](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2024.11(44).27-34) (дата звернення: 15.07.2025).
4. Іжевська О., Білодід А., Сабат С. Сучасне теплове устаткування як рушій розвитку закладів готельно-ресторанного бізнесу. Сучасні тенденції розвитку індустрії гостинності : зб. тез. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (26–27 листопада 2020 року, м. Львів). Львів : ЛДУФК імені Івана Боберського, 2020. С. 51–54. URL: <https://sportsceince.ldufk.edu.ua/index.php/trends/article/view/917/886> (дата звернення: 17.07.2025).
5. Корзун В. Н., Юліна А. І., Оліферчук О. Г. Вплив інтенсифікації теплової обробки на якість м'ясних продуктів. Технологічний аудит і резерви виробництва. 2016. Том 3 № 3(29). С. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.70230> (дата звернення: 17.07.2025).

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РЕГУЛЯТОРА ВИСОТИ РОЗМІЩЕННЯ ВЕРХНЬОЇ КОРЗИНИ ПОСУДОМИЙНОЇ МАШИНИ

Фадєєв О.О.
Майдан П.С.
Соколан Ю.С.

Хмельницький національний університет

Початкові моделі посудомийних машин, які з'явилися на ринку, не мали в своїй конструкції елементів, які призначені для зміни висоти розташування верхньої корзини в робочій зоні машини. На теперішній час наявні моделі, в яких можна змінити висоту кошику, але для цього необхідно виконати ряд достатньо складних дій.

При проведенні аналізу наявних регуляторів висоти розміщення верхньої корзини посудомийної машини (ПММ) було виокремлено основні переваги та недоліки кожного підходу. Але жодне із запропонованих конструктивних рішень не дозволяє розміщувати корзину під кутом до внутрішніх стінок ПММ [1]. Таке розміщення під кутом може стати нагадою, якщо необхідно одночасно виконати миття довгих келихів у верхній корзині та крупногабаритних сотейників у нижній корзині.

Розробка моделі регулятора висоти була виконана у програмі Autodesk Inventor [2]. На рисунку 1 наведено запропонований механізм регулятора висоти верхньої корзини ПММ, а на рисунку 2 – принцип його закріплення до верхнього кошику. Для зміни висоти розміщення верхньої корзини необхідно із зафіксованого початкового положення (рис. 3, а) витягнути назовні ручку (рис. 3, б), відрегулювати корзини на будь-яке із наявних 17 положень в межах 70 мм (рис. 3, в) та зафіксувати регулятор висоти (рис. 3, г). Механізм фіксації передбачений з метою забезпечення безпеки при експлуатації корзини у нахиленому вигляді.

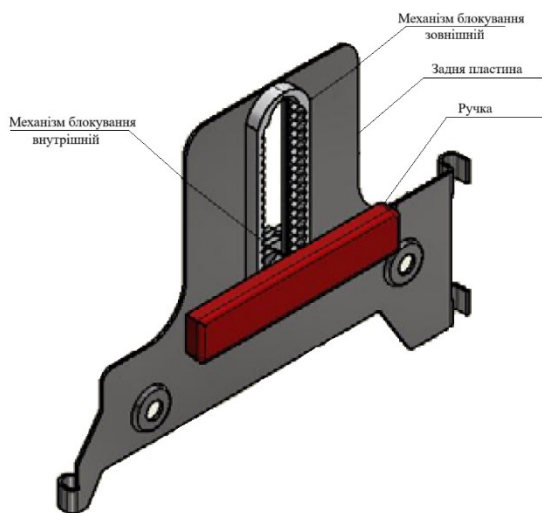


Рис. 1. Конструкція регулятора висоти верхньої корзини посудомийної машини

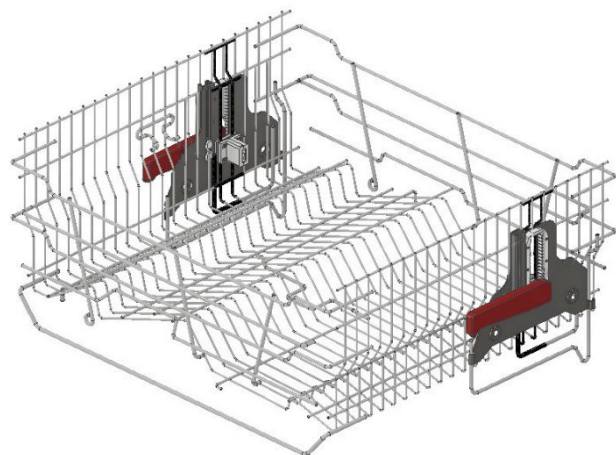


Рис. 2. Розміщення регулятора висоти на верхній корзині ПММ

При виборі матеріалу для конструктивних елементів регулятора висоти верхньої корзини ПММ необхідно враховувати ряд факторів. По-перше, матеріал повинен мати антикорозійний захист, оскільки буде використовуватись у середовищі із високим показником вологості та буде піддаватись прямому впливу води. По-друге, матеріал повинен бути

повністю безпечним для людей, оскільки він може контактувати із посудом для приготування та вживання їжі.

Базуючись на цих принципах та на вхідних даних щодо навантаження, яке повинен витримувати регулятор висоти, за допомогою програми EduPack 2018 [3] було обрано два матеріали. Для основних конструктивних елементів пропонується використовувати нержавіючу сталь 08X18H10, а для ручки – ПОМ пластик [4]. Характеристики матеріалів, що використовуються, наведені у таблиці 1.

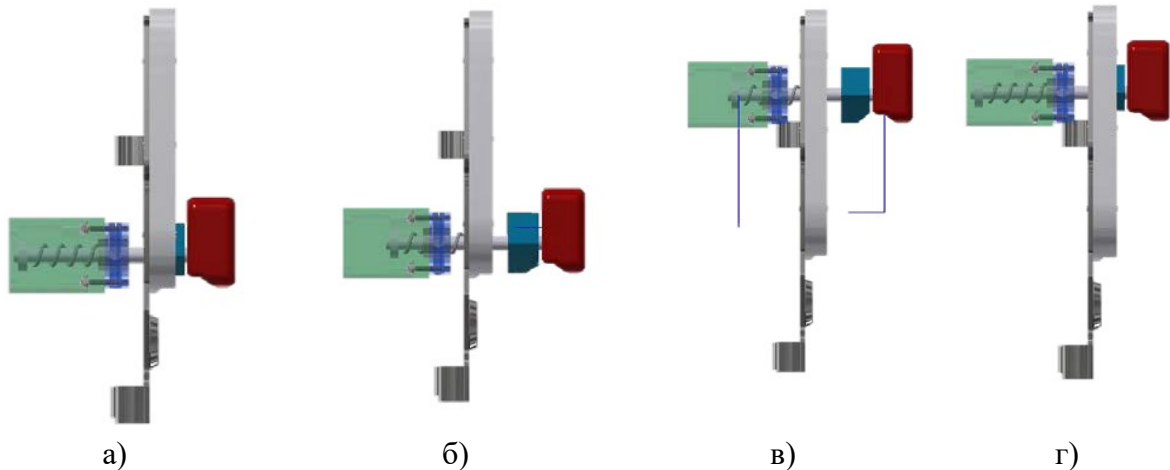


Рис. 3. Принцип роботи розробленого регулятора висоти:

а – зафіксоване положення; б – розблокування фіксації; в – регулювання висоти корзини; г - фіксація

Таблиця 1. Характеристики матеріалів регулятора висоти

Матеріал	Коефіцієнт Пуассона	Модуль Юнга, ГПа	Границя текучості, МПа
ПОМ	0,44	3	70
08X18H10	0,3	200	190

Було проведено розрахунки експлуатаційних параметрів такого регулятора висоти і встановлено, що він здатен забезпечувати:

- розміщення у верхній корзині посуду, вагою до 13,2 кг;
- встановлення корзини під кутом до 8°;
- забезпечення 17 можливих рівнів висоти в межах 70 мм;
- витримувати тиск до 11,5 МПа у зафіксованому положенні;
- фіксацію корзини у заданому користувачем положенні.

Використання такого регулятора висоти верхньої корзини ПММ збільшить ефективність використання робочого простору посудомийної машини, дозволить спростити процес регулювання висоти корзини, надає можливість виконувати миття посуду різних розмірів та використовувати верхню корзини із нахилом відносно внутрішніх стінок корпусу посудомийної машини.

Перелік джерел посилань

1. Електропобутова техніка: підручник для студентів ВНЗ / Петько І.В. та ін. – Хмельницький: ХНУ, 2017. 213 с.
2. Донченко М.В. Технології комп'ютерного проектування: навчальний посібник. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 364 с.
3. CES EduPack. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ces-edupack.updatestar.com/> (дата звернення – 19.10.2025)
4. Повний посібник з поліоксиметилену (ПОМ). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.swks-plasticparts.com/info/complete-guide-on-polyoxymethylene-pom-93301291.html> (дата звернення - 21.10.2025)

ДЕЯКІ ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ НАЗЕМНОГО ДРОНА

Боровик Д.О.
Горященко С.Л.

Хмельницький національний університет

Актуальність дослідження. У статті досліджено актуальність розробки електроприводу для наземних дронів як одного з ключових елементів сучасної робототехніки. Розглянуто переваги електроприводів у порівнянні з іншими типами приводів, визначено основні проблеми їх застосування та окреслено перспективи розвитку. Показано практичне значення використання наземних дронів у різних сферах діяльності людини.

Ключові слова: наземний дрон, електропривод, автономність, енергоефективність, робототехніка.

Метою даного дослідження є обґрунтування актуальності та визначення перспективних напрямів розробки електроприводу для наземного дрона, що забезпечує його енергоефективність, надійність та адаптивність до різних умов експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан використання електроприводів у наземних роботизованих системах;
- визначити основні переваги електроприводу порівняно з іншими типами приводів;
- окреслити проблеми та виклики, що виникають при його застосуванні;
- дослідити можливі шляхи вдосконалення електроприводів з урахуванням новітніх технологій;
- показати практичне значення використання наземних дронів з електроприводом у різних сферах діяльності.

Основні матеріали досліджень.

Розвиток автономних роботизованих систем є одним із пріоритетних напрямів сучасної науки та техніки. Якщо повітряні дрони вже широко застосовуються у цивільних та військових сферах, то наземні дрони лише починають активно впроваджуватися. Їхня ефективність значною мірою залежить від типу приводу, що використовується. Електропривод, завдяки своїм характеристикам, стає найбільш перспективним рішенням для таких систем.

Електропривод виконує роль «серця» наземного дрона, адже саме він забезпечує рух, маневреність та стабільність роботи. Електроприводи дозволяють економно витратити енергію, що критично для автономних систем. Сучасні системи керування електроприводами забезпечують високу точність руху та можливість адаптації до складного рельєфу. Відсутність шкідливих викидів робить наземні дрони з електроприводами придатними для використання у містах та природоохоронних зонах. Електроприводи легко інтегруються з системами штучного інтелекту та сенсорними модулями.

Попри очевидні переваги, існують і проблеми, які потребують вирішення. Сучасні батареї мають недостатню тривалість роботи для виконання довготривалих завдань. Наземні дрони повинні працювати на нерівних поверхнях, у дощ, сніг чи пил. Необхідність створення компактних приводів без втрати потужності. Високотехнологічні електроприводи та акумулятори залишаються дорогими, що стримує масове впровадження.

Практичне значення наземних дронів з електроприводом: доставка вантажів у складних умовах без участі людини; виконання розвідувальних завдань та транспортування спорядження; моніторинг стану полів, внесення добрив та засобів захисту рослин; транспортування медикаментів та обладнання у важкодоступні місця; автоматизація виробничих процесів та обслуговування небезпечних зон.

Висновок. Розробка електроприводу для наземного дрона є актуальним завданням сучасної інженерії. Вона поєднує досягнення в галузі енергетики, матеріалознавства та автоматизації. Вирішення існуючих проблем дозволить створити ефективні, екологічні та універсальні роботизовані системи, здатні працювати у різних сферах людської діяльності.

Перелік джерел посилань

1. Planeta Hobby - магазин радіоуправляемых моделей. Радіокеровані моделі та аксесуари: інтернет магазин радіокерованих моделей, радіокеровані моделі літака - modelistam.com.ua. URL: <https://modelistam.com.ua/ua/kak-vybrati-elektrodivigateli-dlya-drона-a-303/> (дата звернення: 17.11.2025).
2. Дубовик, Т., Іваницький, Д., Левчук, І., Гузь, Г., & Романчук, О. (2025). Розробка наземного керованого дрона підвищеної прохідності з радіокеруванням. Інформаційні технології та суспільство, (1 (16), 72-79. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.9>
3. Kulberdiev, B. A., Dubovyk, T. M. Development of a Bluetooth-controlled machine using Arduino Uno. Materials of the xv international scientific and practical conference cutting-edge science. 2019. С. 28–29.
4. Langbridge J. A. Arduino™ Sketches: Tools and Techniques for Programming Wizardry. John Wiley & Sons Inc. 2014. <https://doi.org/10.1002/9781119183716>
5. Nebeker, Frederik. Dawn of the Electronic Age: Electrical Technologies in the Shaping of the Modern World, 1914 to 1945. John Wiley & Sons. 2009. с. 14–15. ISBN 0470409746
6. Sergeyeva O., Lisenko V., Dubovik T., Patalakha M. “Development of a Wi-Ficontrolled mobile video device on the Arduino NANO basis”. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. Vol. 3/9 (105), 55–60, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206558>

РОЗРОБКА НАЗЕМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Свідерський Р.Р.

Поліщук О.С.

Хмельницький національний університет

Сучасні тенденції в електроенергетиці характеризуються активним впровадженням відновлюваних джерел енергії, серед яких особливе місце посідають сонячні електростанції. Зростання цін на електроенергію, необхідність підвищення енергоефективності та забезпечення автономності живлення стимулюють застосування гібридних систем, що поєднують фотоелектричні панелі, інверторне обладнання та акумуляторні системи. Для забезпечення даних потреб запропоновано проєкт інженерної та електротехнічної частини гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт, включаючи конструктивні рішення несної системи та електричні схеми підключення.

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було розроблено та змодельовано металеву утримуючу каркасну конструкцію, що забезпечує жорсткість встановлення та можливість оптимального розміщення фотоелектричних модулів. Каркас виконано зі сталевих профільних елементів із захисним антикорозійним покриттям. Конструкція має просторову жорсткість і дозволяє розміщувати панелі під фіксованим кутом для максимального сонячного ресурсу. На рис.1 наведено аксонометричний вигляд змонтованого каркасу з розташуванням модулів.

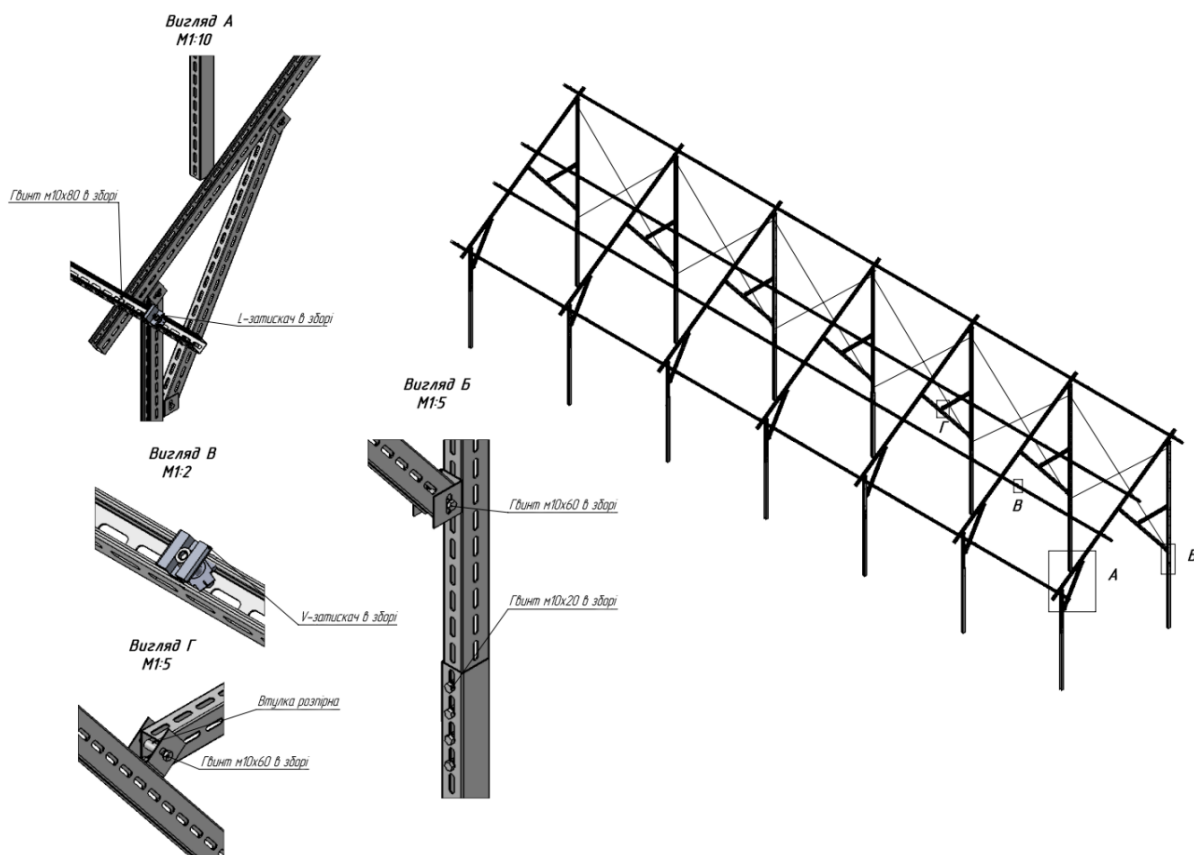


Рис.1. Аксонометричний вигляд металевого каркасу, призначеного для утримання сонячних панелей

У процесі проектування було виконано оцінку вітрових та снігових навантажень відповідно до діючих будівельних норм та рекомендацій, а також підбрано перерізи елементів, що забезпечують необхідний запас міцності. Підсилені вузлові з'єднання дозволяють знизити деформації та продовжують строк служби всієї конструкції. Такі рішення відповідають вимогам методичних рекомендацій щодо проектування несних конструкцій для фотоелектричних установок [1].

Електрична частина гібридної сонячної електростанції включає фотоелектричні панелі, об'єднані у стрінги відповідно до робочих параметрів інвертора. Конфігурація стрінгів підібрана так, щоб забезпечити стабільну роботу в межах допустимих напруг і струмів, а також максимальну сумісність із МРРТ-входами. У складі системи застосовується гібридний інвертор, здатний працювати паралельно з мережею, забезпечувати живлення критичних споживачів у разі відключення та підтримувати роботу з акумуляторною батареєю. Для накопичення енергії використовується літій-залізо-фосфатна АКБ із вбудованим BMS, що контролює режими заряду та розряду.

На стороні постійного струму встановлено автоматичні вимикачі стрінгів та пристрої захисту від перенапруг, підібрані відповідно до вимог стандарту IEC 62548, що регламентує технічні умови проектування фотоелектричних систем. Постійний струм надходить на МРРТ-входи інвертора, де відбувається оптимізація виробітку. На стороні змінного струму передбачено захист інвертора та споживачів за допомогою автоматичного вимикача та СПЗ змінного струму, підібраних згідно зі струмами навантаження та можливими режимами короткого замикання [2, 3].

Система заземлення включає контур із розрахованим опором, заземлення металоконструкцій, інвертора та обладнання, а також систему зрівнювання потенціалів, що підвищує безпеку та знижує ризик перенапруг. Усі взаємозв'язки обладнання та елементів захисту відображені в однолінійній електричній схемі станції (рис.2), яка визначає логіку роботи гібридної системи та забезпечує селективність захисту.

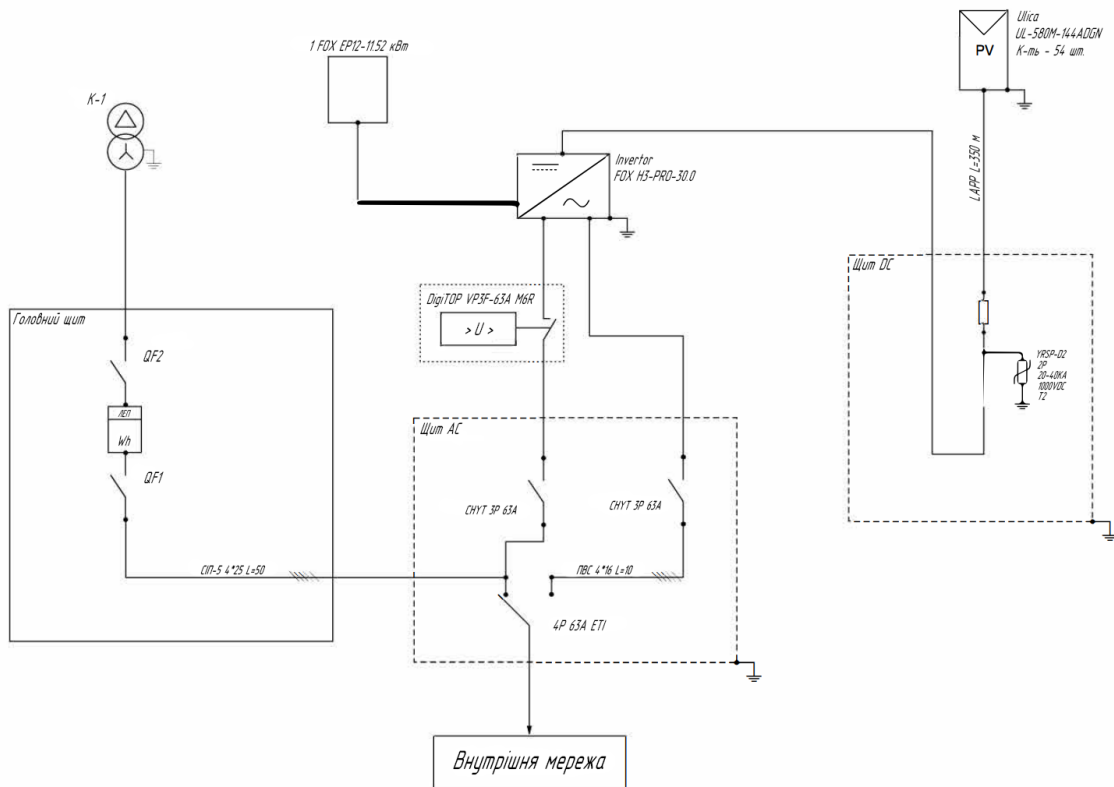


Рис.2. Однолінійна схема гібридної сонячної електростанції

У процесі проектування було визначено робочі режими стрінгів, підбрано перерізи кабелів постійного та змінного струму на основі теплового розрахунку та допустимого відсотка втрат напруги. Проведено аналіз режимів короткого замикання, що дав змогу вибрати комутаційні апарати та захисну апаратуру, відповідно до вимог електротехнічних норм [2, 4].

Виконано розрахунок опору заземлювального пристрою та розроблено схему системи зрівнювання потенціалів. Окремо враховано вимоги безпеки під час експлуатації гібридних систем, у тому числі щодо роботи з акумуляторними батареями та інверторними перетворювачами.

Висновок. Розроблений проєкт гібридної сонячної електростанції потужністю 30 кВт включає комплекс технічних рішень, спрямованих на забезпечення надійної роботи генеруючої частини, ефективної взаємодії інверторного обладнання та акумуляторної системи, а також безпечної експлуатації всіх елементів. Інженерні та електротехнічні рішення підтверджені відповідними розрахунками та відповідають вимогам сучасних норм і методичних рекомендацій. Реалізація проєкту дозволяє забезпечити стабільне виробництво електроенергії, підвищити автономність живлення та зменшити залежність від зовнішньої електромережі.

Перелік посилання

1. Інструкція з монтажу сонячних фотоелектричних модулів DAH Solar: технічна документація / DAH Solar Co., Ltd. ; Версія: Лис. 2024. – 31 с.
2. П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. Проєктування електричної частини електричних станцій : навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 194 с.
3. IEC 62548-1:2023. Photovoltaic (PV) arrays – Part 1: Design requirements. International Electrotechnical Commission, 2023. 104 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/64171>
4. А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. В. Співак, О. А. Козловський, А. І. Котиш, Т. В. Величко. Електричне обладнання станцій і підстанцій : навч. посіб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 272 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСУ ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН НА ОСНОВІ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

Ткачук О.А.
Бачок М.О.
Посонський С.Ф.

Хмельницький національний університет

Сучасний розвиток автомобільного транспорту та двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) супроводжується істотним підвищенням їх технічного рівня. Це зумовлено як зростанням середнього ефективного тиску й частоти обертання колінчастого вала, так і широким впровадженням електронних систем керування (ЕБУ), які забезпечують більш точне регулювання робочих процесів. Проте підвищення питомої потужності двигуна неминуче призводить до збільшення теплового та механічного навантаження на його деталі. У таких умовах надзвичайно важливим стає забезпечення стабільного теплового режиму роботи двигуна, який безпосередньо залежить від ефективності системи охолодження.

Система охолодження виконує завдання підтримання оптимальної робочої температури двигуна, відведення надлишкового тепла та запобігання перегріву елементів конструкції. Від її стану залежить не лише надійність, а й паливна економічність, рівень викидів шкідливих речовин і довговічність мастильної системи. Згідно з дослідженнями, через систему охолодження відводиться близько 30...35 % загальної кількості тепла, що утворюється під час згоряння палива. Підтримання оптимальної робочої температури дозволяє зберігати механічну міцність матеріалів, забезпечувати належну в'язкість і змащувальні властивості моторної оливи та мінімізувати витрати палива.

У сучасних транспортних засобах найпоширенішими є рідинні системи охолодження, які мають вищу ефективність порівняно з повітряними. Вони забезпечують більш рівномірне відведення тепла, меншу чутливість до зовнішніх температур і компактніші розміри радіаторів. Водночас розвиток двигунобудування демонструє тенденцію до підвищення температурних режимів їх роботи. Наприклад, у дизельних двигунах компаній Caterpillar, MAN, Deutz AG, General Motors температура охолоджуючих рідин може сягати 115...126 °С, що вимагає застосування високотемпературних антифризів з підвищеною стабільністю.

Одним із головних напрямів удосконалення сучасних двигунів є підвищення їхньої надійності та довговічності за умови зменшення споживання палива, мастильних матеріалів і технічних рідин. Довговічність двигуна значною мірою визначається станом системи охолодження, адже саме вона запобігає перегріванню та забезпечує рівномірний тепловий розподіл. Важливу роль при цьому відіграє якість охолоджувальної рідини, яка з часом змінює свої фізико-хімічні властивості [1].

Використання принципів теорії надійності дозволяє встановити взаємозв'язок між параметрами охолоджуючих рідин та ресурсом двигуна. Практичне продовження строку служби агрегатів можливе за рахунок застосування антифризів високої якості та дотримання оптимальних інтервалів їх заміни. Водночас жорстке дотримання заводських регламентів не завжди є доцільним, адже умови експлуатації транспорту можуть суттєво відрізнятися від стандартних.

Сучасні дослідження свідчать, що реальний ресурс охолоджуючих рідин значною мірою залежить від режимів експлуатації транспортного засобу, навантаження, частоти холодних запусків та температурного циклу роботи двигуна. У деяких випадках антифризи зберігають експлуатаційні властивості навіть після перевищення рекомендованого строку служби, тоді як у 15...20 % випадків рідина втрачає свої властивості набагато раніше. Це

означає, що уніфікований регламент заміни не відображає фактичного стану охолоджуючої рідини, а тому потрібна індивідуальна діагностика.

Перехід до оцінювання технічного стану охолоджуючих рідин на основі їх фактичних показників дозволяє визначати момент, коли рідина втрачає свої властивості, і прогнозувати залишковий ресурс. Такий підхід сприяє оптимізації витрат, запобігає передчасній заміні придатної рідини та, навпаки, дозволяє своєчасно виявляти рідини, що втратили захисні властивості, запобігаючи пошкодженню двигуна.

Зміна таких параметрів, як рН, електропровідність, концентрація присадок і щільність, є надійними індикаторами старіння охолоджувальної рідини. Визначення цих характеристик дозволяє оцінити ступінь деградації та прогнозувати залишковий термін придатності.

Одним із ефективних способів оцінки стану охолоджувальних рідин є вимірювання їх електропровідності. Цей показник змінюється у процесі експлуатації через накопичення іонів металів, продуктів корозії та деградації присадок. Найчастіше застосовують методіку визначення питомого або об'ємного опору рідини, коли на вимірювальну комірку подається напруга, а сила струму визначається за допомогою високочутливих приладів.

На точність результатів впливають як умови проведення вимірювань (температура, тривалість, ступінь чистоти комірки), так і її конструктивні особливості. Для усунення спотворень, спричинених крайовими ефектами, застосовують дво- або тризатискні вимірювальні комірки з охоронним електродом. Якщо такий електрод занурений у рідину на глибину не менше 2 мм, похибка вимірювання зменшується в декілька разів.

У процесі вимірювання можуть виникати побічні явища такі як поляризація або електроочищення рідини. При використанні постійної напруги вони проявляються лише на початковому етапі, а при змінній напрузі – зберігаються протягом усього експерименту, що впливає на точність. Тому для дослідження антифризів найчастіше використовують методіку вимірювання при постійному струмі, яка забезпечує стабільні результати і мінімізує вплив поляризаційних процесів.

З огляду на результати численних експериментів, саме метод визначення питомої електропровідності при постійному електричному полі вважається найоптимальнішим для лабораторної та експрес-оцінки стану охолоджувальних рідин. Він є простим у реалізації, не потребує складного обладнання і може бути адаптований для портативних діагностичних приладів, придатних для використання безпосередньо на станціях технічного обслуговування.

Впровадження системи індивідуального діагностування охолоджувальних рідин дозволяє реалізувати концепцію керування ресурсом двигуна на основі його фактичного стану. Це сприяє зниженню експлуатаційних витрат, зменшенню утворення відходів, підвищенню надійності та екологічності транспортних засобів. Регулярний контроль властивостей антифризу дає змогу уникнути перегрівів, руйнування ущільнень і утворення накипу в системі охолодження.

Таким чином, перехід від планово-регламентного до станового обслуговування системи охолодження є важливим кроком у підвищенні ефективності експлуатації автомобільних двигунів.

Висновок: індивідуальна діагностика забезпечує своєчасну заміну рідини, запобігає передчасному старінню агрегатів, зменшує ризик відмов і сприяє стабільній роботі силового агрегату протягом усього життєвого циклу.

Перелік джерел посилань

1. Наглюк М. та ін. Показники якості антифризу та їх кореляційний зв'язок з електропровідністю при експлуатації міжміських автобусів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 1(17). С. 108–113.

ДІАГНОСТУВАННЯ ДАТЧИКА МАСОВОЇ ВИТРАТИ ПОВІТРЯ АВТОМОБІЛЯ

**Ференс Д.Ю.
Посонський С.Ф.
Бабак О.П.**

Хмельницький національний університет

Сучасна транспортна галузь вимагає підвищення надійності, паливної економічності та екологічної безпеки автомобільної техніки. Значну роль у цьому відіграє своєчасне діагностування елементів системи керування двигуном внутрішнього згоряння, зокрема датчика масової витрати повітря (ДМВП), на який припадає близько 14,2 % відмов, пов'язаних із несправностями двигуна [1]. У процесі експлуатації датчик піддається впливу високих температур, вібрацій та забруднень, що призводить до зміни його характеристик і похибок вимірювання. Вчасне виявлення таких відхилень дозволяє уникнути перевитрати палива, нестійкої роботи двигуна та перевищення токсичності відпрацьованих газів.

Датчик масової витрати повітря є ключовим елементом у системі керування двигуном внутрішнього згоряння. Від точності його роботи залежить ефективність сумішоутворення, економічність і екологічність транспортного засобу [1].

Наявні методи діагностики не завжди забезпечують достовірність результатів у реальних умовах експлуатації, оскільки інформації, отриманої від бортових систем, недостатньо для точного визначення технологічних впливів, необхідних для підтримання працездатності датчика [2]. Це свідчить про потребу удосконалення методів діагностування систем ДВЗ [3].

Екологічні норми до сучасних ДВЗ вимагають підтримання стехіометричного співвідношення повітря й палива (14,7:1) для забезпечення ефективної роботи каталітичного нейтралізатора [4]. Для цього електронна система керування двигуном повинна отримувати точну інформацію про кількість повітря, що надходить у циліндри, яку забезпечує ДМВП. Будь-яке відхилення сигналу цього датчика від реального значення призводить до зміни тривалості імпульсу уприскування, що безпосередньо впливає на процес згоряння суміші. Тому якість його калібрування та діагностика є критичними для стабільної роботи силового агрегату.

Існують два основні принципи визначення витрати повітря:

1. Механічний, що базується на вимірюванні об'єму потоку через рух вимірювальної заслінки;
2. Тепловий (термоанемометричний), який передбачає фіксацію маси повітря на основі зміни температури чутливого елемента.

Механічні датчики широко застосовувалися у системах уприскування типу Jetronic (K-Jetronic, KE-Jetronic, L-Jetronic), розроблених компанією Bosch [2]. Їхня конструкція включає демпфуючу камеру, поворотну пружину, вимірювальну заслінку, потенціометр та регульовальний гвинт якості. Принцип роботи полягає у перетворенні механічного руху заслінки на електричний сигнал, пропорційний кількості всмоктуваного повітря. Попри простоту та надійність, ці витратоміри поступилися місцем більш точним електронним системам через наявність рухомих елементів і зношування потенціометра [3, 5]. Проте їх дослідження має практичне значення для ретрофітування старих систем уприскування та відновлення класичних автомобілів, де точність менше критична, але надійність механічних вузлів залишається перевагою.

Термоанемометричні датчики масової витрати повітря (MAF-сенсори) стали основним рішенням у сучасних системах керування двигунами [6]. Вони не мають рухомих частин, характеризуються високою точністю, швидкодією та стабільністю показань.

Виділяють два основні типи таких сенсорів:

1) дротяний (Hot Wire) – основою є платинова нитка, температура якої підтримується постійною за допомогою електричного струму. Потік повітря охолоджує нитку, що викликає зміну струму, пропорційну масовій витраті повітря;

2) плівковий (Hot Film) – складається з кремнієвого кристала з нанесеними тонкими платиновими резисторами, які виконують функції нагрівального елемента, терморезисторів і датчика температури повітря [5].

У дротяних датчиках передбачено режим самоочищення, при якому платинова нитка короткочасно нагрівається до 1000 °С для видалення відкладень [2]. Основним недоліком є поступове зменшення товщини нитки, що впливає на точність вимірювань [3].

Плівкові витратоміри позбавлені цього недоліку, а їхня конструкція забезпечує вимірювання навіть реверсивного потоку повітря, що підвищує точність сигналу на виході [5, 6]. Додатковою перевагою таких сенсорів є можливість інтеграції функції вимірювання температури повітря, що спрощує архітектуру системи керування та зменшує кількість зовнішніх елементів.

Метою роботи є підвищення достовірності діагностування датчика масової витрати повітря шляхом формування нової методики оцінки його технічного стану із використанням стресових тестових взаємодій.

Гіпотеза дослідження ґрунтується на можливості отримання однозначної оцінки технічного стану ДМВП через застосування стресового тестування. Для цього пропонується відключати три циліндри двигуна і навантажувати один робочий, забезпечуючи поступове формування навантаження. Паралельно реєструються такі параметри, як частота обертання колінчастого вала, положення дросельної заслінки, масова витрата повітря, витрата палива й показання мультиметра. Отримані результати дозволяють визначити стан датчика з високою точністю [7]. Передбачається, що аналіз динаміки сигналу в умовах змінного навантаження дозволить не лише фіксувати факт несправності, але й класифікувати її тип – наприклад, забруднення чутливого елемента чи деградацію електричного кола.

Висновок: аналіз показує, що існуючі методи діагностики не забезпечують достатньої достовірності оцінки технічного стану ДМВП у процесі експлуатації. Перспективним напрямом є розроблення інтелектуальних методів діагностування, заснованих на стресових тестових взаємодіях і комплексному аналізі реакцій системи. Це дозволить зменшити витрати на обслуговування, підвищити надійність і довговічність двигунів внутрішнього згоряння.

Перелік джерел посилань

1. Бабак В. П., Лобанов І. М. Діагностика технічного стану автомобілів. — Київ: Арістей, 2018. — 304 с.
2. Bosch GmbH. Automotive Handbook. — 10th ed. — Wiley, 2018. — 1680 p.
3. Говорущенко Н. Я., Якимець, С. О. Системи керування автомобільними двигунами. — Харків: ХНАДУ, 2019. — 276 с.
4. Obert E. F. Internal Combustion Engines and Air Pollution. — New York: Harper & Row, 2017. — 520 p.
5. Пархоменко О. В. Електронні системи керування ДВЗ. — Київ: НТУ, 2021. — 198 с.
6. ISO 15031-5:2020. Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 5: Emissions-related diagnostic services. — International Organization for Standardization, 2020.
7. Мельничук М. П., Слободянюк, В. В. Основи технічної діагностики автомобільних двигунів. — Вінниця: ВНТУ, 2020. — 212 с.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

В.А. Гончар

Хмельницький національний університет

Переробка фуражного зерна методом екструдювання з добавками мінералу сапоніту є перспективним напрямком виготовлення вискоєфективних комбикормів для тваринництва, які не тільки забезпечують збільшення приросту тварини в 1,5-2 рази, а також значно підвищують якість тваринницької продукції (м'яса і молока), очищуючи їх від радіонуклідів. Разом з тим мінерал сапоніт є абразивним середовищем, який значно впливає на зносостійкість вузла екструдювання.[1]

Основою екструдювання є два процеси – механо-хімічна деформація і «вибух», або «декомпресійний шок», що відбувається на дільниці ударного розрядження. Ці процеси здійснюються під дією деформаційних напружень і тепла при певних швидкостях підведення і відведення тепла і тиску. Біополімери в процесі екструдювання зазнають фазових перетворень з крихкого стану у високоеластичний і потім у в'язкотекучий. Фазові перетворення стану продукту дозволяють весь процес екструдювання розділити на ряд технологічних зон: завантаження, стиск, гомогенізація, власне екструзія. Інші дослідники [1-2] в екструдері розрізняють зони завантаження (втягування), ущільнення, пластифікації, змішування і зрізу, збільшення тиску і продавлювання через філь'єри.

Дослідженнями встановлено, що вологість сировини коливається межах від 20 до 35 % в залежності від кількості та видів відходів зернового виробництва. До складу сировини з метою підвищення кількості корисних мікроелементів в комбикормах додається 10% сапоніту. Дослідження фрактографічного складу сапонітової муки показали, що вона містить до 1.67% кварцового піску розмірами від 250 до 600 мкм (рис. 1), який є абразивом.

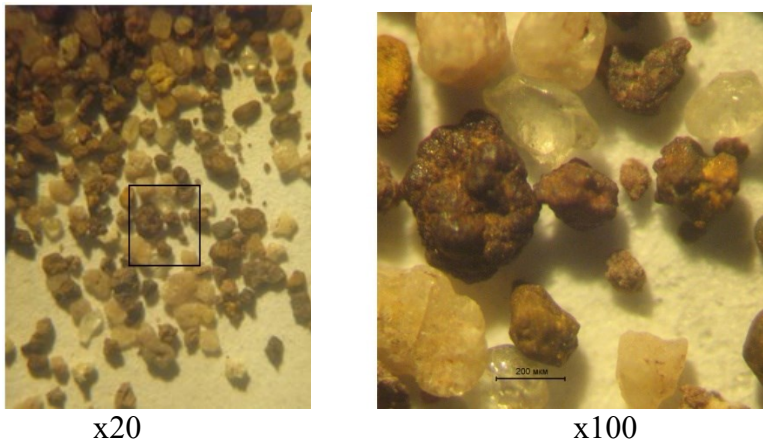


Рис. 1 – Абразивні частинки в складі сапоніту

Досвід експлуатації екструдерів для переробки фуражного зерна, відходів зернового виробництва з добавками мінералу сапоніту на багатьох сільськогосподарських підприємствах Хмельницької області показав малу довговічність деталей вузла екструдювання, яка не перевищувала 200 мотогодин.

З метою підвищення зносостійкості і довговічності екструдера пропонується пару шнек – циліндр виконувати секційної конструкції. Секції шнека (Рис. 2) монтується на валу і утримуються в осьовому напрямку з допомогою гайки, що навінчується на вал.

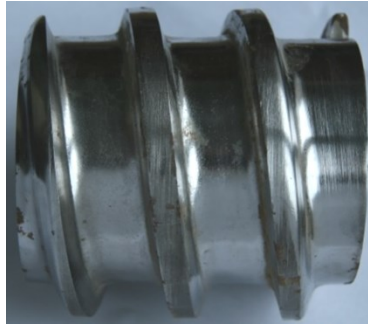


Рис. 2 – Секція.

Циліндр екструдера складається із цільного завантажувального корпусу і двох пар напівкорпусів збірної конструкції (рис. 3), що розміщуються проти секцій шнека. Необхідний для екструзії профіль внутрішньої поверхні півкорпусів забезпечується з допомогою змінних призматичних планок, що кріпляться в пазах з допомогою гвинтів.

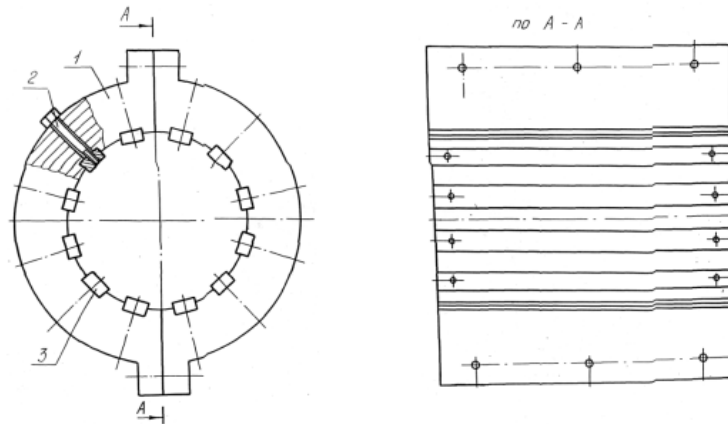


Рис. 3 – Корпус циліндра 1 - півкорпуси; 2 - гвинт; 3 - планка.

Данна конструкція забезпечує швидке відновлення працездатності вузла екструзії при зношуванні пари шнек – циліндр заміною зношених планок на нові. Це дозволяє зберегти вартісний корпус циліндра і компенсувати знос шнека зміною товщини планок. Дослідження показали, що максимальний знос шнека і циліндра відбувається в зоні пластифікації сировини, де виникає максимальний тиск. Роз’ємна конструкція шнека дозволяє легко замінювати зношені секції на нові, або менш зношені з зони завантаження.

Конструкція матеріального циліндра не потребує великих затрат при виготовленні і забезпечує значну економію матеріальних ресурсів в процесі експлуатації екструдера.

Перелік джерел посилань

1. Технологічні комплекси харчових виробництв. Навч. посіб. /В.І.Теличкун та інш. Київ: Видавництво «Сталь», 2017. 456 с.
2. Міллауер Х. Екструдери і екструзійні установки / Матеріали семінару по технології виробництва комбикормів, фірма Buhler-Buhler MIAC, 1989.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ РОЗСОЛУ МЕТОДОМ ТАНГЕНЦІАЛЬНОЇ МІКРОФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СИРНИХ МАС

Цимбалюк Ю. В., Мартинюк А.В., Федорів В.М.

Хмельницький національний університет

Основною проблемою, що виникає під час процесу соління сирів є факт поступового зростання рівня забруднення соляного розчину внаслідок проникнення до нього компонентів сирів (білків, жиру, солі, лактози та твердих частинок) та бактерій. Забруднений соляний розчин є чудовим живильним середовищем для подальшого зростання небажаної бактеріальної флори, включаючи патогенні бактерії, дріжджі та плісняви, які є суттєвою загрозою для забезпечення якості кінцевого виробу. Крім того, соляний розчин відрізняється ніжною динамічною рівновагою між окремими компонентами соляного розчину, як хлорид кальцію, розчинені та осаджені кальцієві солі, лактоза, молочна кислота, а також розчинені та денатуровані сироваркові білки. Насичення соляного розчину білками та солями забезпечує його відповідну буферність та в результаті попереджає розчинення чергових партій сиру, введених у соляний розчин [1].

З часом відбувається помутніння соляного розчину, що зумовлює остаточному етапі необхідність його заміни чи підготовки термічним чи хімічним методом. Пастеризація соляного розчину призводить до порушення згаданої динамічної рівноваги (особливо шляхом зміни рівня фосфату кальцію) і вимагає використання стійких теплообмінників до корозії, викликаній високою концентрацією NaCl. Хімічний метод призводить до порушення процесу дозрівання сирів у поверхневому шарі [2].

Запропонована установка призначена для відновлення сироварного соляного розчину за допомогою мембранної техніки. Це метод, заснований на фізичному розділенні розчину на мембрані (мікрофільтрі) певної пористості під впливом різниці тисків, що виникають по обидва боки.

Установка використовує полімерні мікрофільтраційні мембрани, що є фізичним бар'єром для частинок, що знаходяться в розчині, розміри яких перевищують розмір пор мембрани. Розмір цих пір визначає одночасно сепараційну здатність мембрани.

Процес регенерації соляного розчину здійснюється у фільтраційних модулях, у яких відбувається фізичний поділ соляного розчину на дві фракції (рис. 1):

– фільтрат - чистий соляний розчин із незмінним рН та збереженою фізикохімічною рівновагою, вільний від бактеріальної мікрофлори - призначений для повторного використання в процесі соління сирів;

– концентрат містить всю бактеріальну мікрофлору і тверді забруднення - призначений для утилізації.

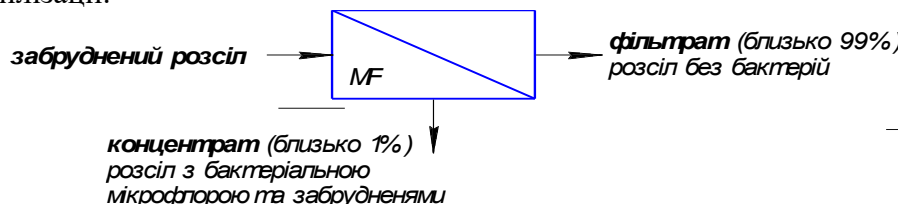


Рис. 1. Схема процесу регенерації соляного розчину

Відомо, що розчин кухонної солі масовою концентрацією 18% і вище не є сприятливим середовищем для розвитку мікрофлори. Тим не менш, кількість мікроорганізмів у розсолі постійно зростає, за рахунок накопичення мікрофлори, що надходить з навколишнього середовища та сиру. Отже, розсіл може становити небезпеку для сирів як накопичувач та як джерело шкідливої мікрофлори. Тому існують обмеження щодо вмісту мікрофлори в

розсолі; за нідерландським стандартом у розсолі не повинно бути більше 5000 солестійких лактобацил, газоутворюючих бактерій - не більше 1000 КУО/мл.

З метою вирішення даної технологічної проблеми було розроблено та впроваджено новітнє обладнання, а саме, – Автоматизована установка мікрофільтрації розсолу типу АУМФ–1 компанії ТЕСМО–М (Україна) (рис. 2).



Рис. 2. Автоматизована установка мікрофільтрації розсолу типу АУМФ–1

Порівняння очищеного розсолу з концентратом (бактеріальною мікрофлорою та забрудненнями) можна побачити на рис. 3.

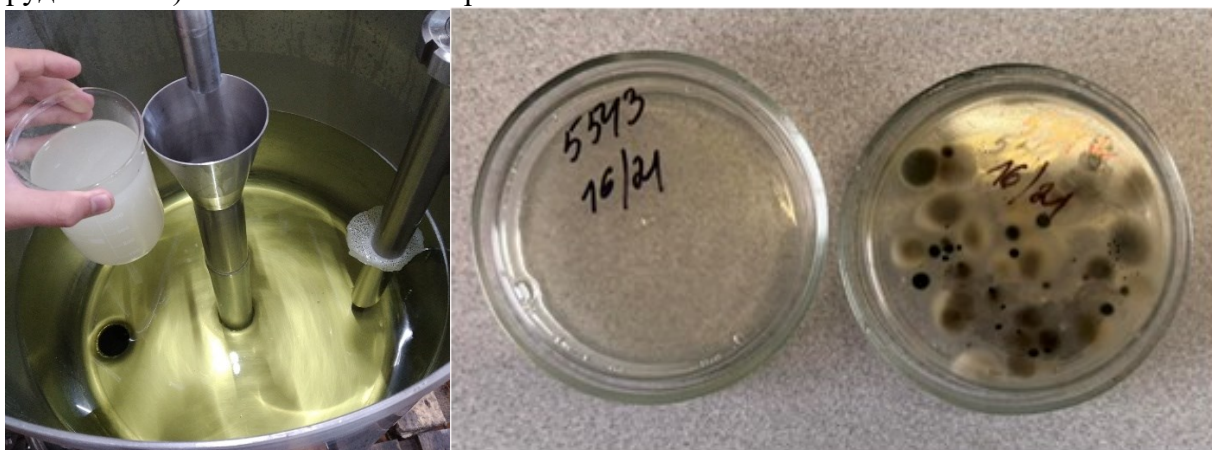


Рис. 3. Очищений розсіл в порівнянні з концентратом (бактеріальною мікрофлорою)

Мембранна фільтрація є ефективним засобом для підтримки розсолу на високому санітарно-гігієнічному рівні. Очищення можна здійснювати безперервно протягом доби. Енергетичні витрати на один цикл очищення приблизно в 10 разів менші ніж на пастеризацію, при практично однаковій ефективності. Використання баромембранних методів (як мікрофільтрації, так і ультрафільтрації) є перспективним методом енергозбереження відновлення експлуатаційних властивостей розсолів. Енергетичні витрати при використанні мембранних способів приблизно в 10 разів нижче за витрати при використанні теплового способу пастеризації.

Перелік джерел посилань

1. Jørgen Wagner, B. Sc. Chem. Eng. 2001. *Membrane Filtration Handbook. Practical Tips and Hints*, Second Edition, Revision 2. Printed by Osmonics, Inc.
2. Pavan K., Neelesh S., Rajeev R., Sunil K., Bhat Z. F., Dong K. J. *Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review*. 2013 Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS), Vol. 26(9)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ ЗА ФРИКЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ПОВЕРХОНЬ

Кармаліта А. К.

Дзяворук О. Ф.

Пундик С.І.

Хмельницький національний університет

Дослідженню фрикційних властивостей матеріалів, що застосовуються для деталей взуття, присвячено кілька робіт [1, 2]. Аналізуючи їх, можна зробити висновок про те, що більшість взуттєвих матеріалів мають різні фрикційні властивості лицьової та виворітної поверхонь. Це передбачає можливість автоматичного орієнтування деталей з таких матеріалів за ознакою "лицьова сторона – виворітна сторона" з використанням відмінності фрикційних властивостей поверхонь деталі.

На рис. 1 зображено схему контролю положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь за допомогою двох фрикційних валків [3].

На схемі представлені однакові валки 1 і 2, контрольована деталь 3, позиція завантаження 4 і позиція переорієнтування 5.

Контроль здійснюється в такий спосіб. Плоску деталь, що має асиметрію фрикційних властивостей поверхонь, поміщують між контролюючими валками з однакового матеріалу, що мають однакову шорсткість поверхонь, однаковий діаметр і обертаються в різні сторони з однаковою швидкістю. Потім валки притискають до протилежних поверхонь деталі. При цьому, якщо фрикційні властивості поверхонь деталі будуть різними, то, відповідно, будуть різними по величині і сили тертя F_1 і F_2 між деталлю й валками. У результаті деталь буде переміщатися тим валком, який контактує з поверхнею з більшою силою тертя.

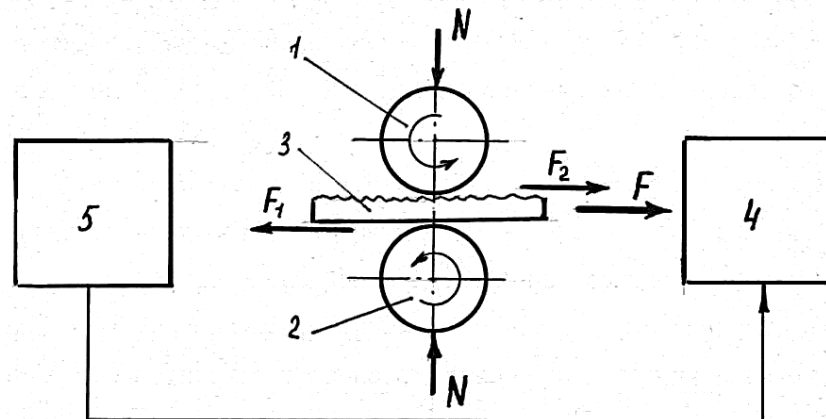


Рис. 1. Схема контролю положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь

Таким чином, у процесі контролю положення деталь переміщується з позиції контролю на позицію завантаження в технологічне обладнання або на позицію переорієнтування залежно від її вихідного положення.

При цьому зусилля переміщення деталі, у випадку $F_2 > F_1$

$$F = F_2 - F_1 = N(f_2 - f_1)$$

де N - зусилля притискання валків; f_1, f_2 - коефіцієнти тертя між валками та поверхнями деталі.

Головними факторами, за інших рівних умов, що впливають на ефективність контролю даним способом, є матеріал валків і зусилля притискання валків.

Застосування валків як датчиків контролю положення плоских деталей взуття за фрикційними властивостями поверхонь і одночасного транспортування деталей з позиції

контролю на позицію завантаження або переорієнтації значно спрощує операцію контролю, підвищує продуктивність і надійність контролюючих пристроїв.

З метою перевірки працездатності описаного способу, були виготовлені моделі пристроїв, що реалізують цей спосіб контролю та проведені випробування з деякими найпоширенішими плоскими деталями низу взуття, що мають асиметрію властивостей поверхонь. На рис. 2 представлена модель пристрою. В таблиці відображено результати випробувань. Позитивні результати випробувань зазначені в таблиці знаком "+".

Таблиця 1

Результати випробувань

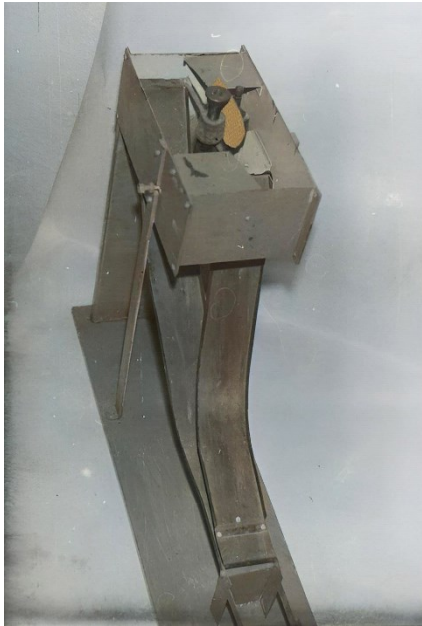


Рис. 2. Модель пристрою для контролю положення і орієнтації плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь

№	Найменування деталі	Результат контролю
1	Шкіряні підошви з гладкою ходовою поверхнею та скульованою неходовою	+
2	Шкіряні підошви з тисненою ходовою поверхнею	+
3	Підошви з мікропористої гуми з рифленою ходовою поверхнею	-
4	Деталі низу з натуральних шкір	+
5	Деталі низу зі штучних матеріалів	+
6	Деталі низу зі штучного хутра	-
7	Екошкіра	+
8	Дубльований оксфорд	-
9	Деталі низу з матеріалу EVA	-

Висновок: таким чином результати попереднього дослідження моделі пристрою для контролю положення і орієнтації плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь показали, що даний спосіб може бути застосований для більшості матеріалів взуття і заслуговує подальшого дослідження.

Перелік джерел посилань

1. Закалов, О. В. Основи тертя і зношування в машинах : навч. посіб. / Закалов, О. В., Закалов І. О. – Тернопіль, Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя. – 2011. – 322 с.
2. S. Derler, F. Kausch, R. Huber, Analysis of factors influencing the friction coefficients of shoe sole materials, Safety Science, Volume 46, Issue 5. – 2008. – P. 822–832.
3. А. с. СССР 1057000, МПК А43D 1/00. Способ контроля положения плоских деталей обуви по фрикционным свойствам поверхности / Пискорский Г.А., Кармалита А.К., Киевский технологический институт легкой промышленности - №3411335/28-12, заяв. 1982.03.18; опуб. 1983.11.30, бюл. №44.

РОЗРОБКА ІНТЕРАКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАВЧАЛЬНИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ

Пінковський Д.С.

Пундик С.І.

Хмельницький національний університет

Інтенсивний розвиток автоматизованого виробництва, зокрема впровадження роботів-маніпуляторів у легкій промисловості та машинобудуванні, вимагає створення якісних навчально-дослідницьких комплексів. Метою таких комплексів є надання студентам можливості вивчити принципи програмування, кінематики та реалізації системи керування роботом. Існуючі промислові системи є занадто дорогими та складними для навчальних лабораторій, а прості освітні моделі часто мають низьку точність та обмежену функціональність [1].

Метою цієї роботи є аналіз та розробка ефективної системи керування навчальним роботом-маніпулятором на базі відкритої апаратної платформи. Це дозволить забезпечити необхідну точність і гнучкість для симуляції технологічних процесів у легкій промисловості, зберігаючи при цьому бюджетність та можливість модифікації системи.

Для реалізації керуючої системи була обрана багаторівнева архітектура з використанням мікроконтролерної платформи Arduino Nano як основного керуючого ядра. Це рішення дозволяє розділити обчислювальні завдання на кілька модулів і забезпечує високу інтерактивність. Структурна схема меню розробленої системи керування представлена на рисунку 1 [2].

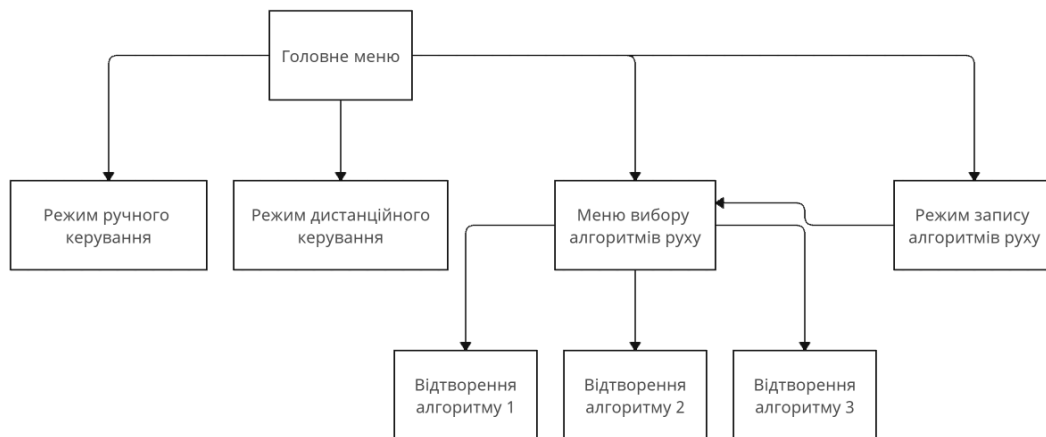


Рис.1. Структурна схема меню системи керування навчальним роботом-маніпулятором

Система має три основні функціональні блоки:

– блок керування та вводу: Дозволяє користувачеві задавати кути повороту для кожного із п'яти шарнірів за допомогою потенціометрів або через програму, завантажену у мікроконтролер. Користувач задає бажані кути $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_5$ для кожного ступеня свободи;

– візуалізаційний модуль: Для забезпечення інтерактивності використовується LCD-дисплей, підключений через інтерфейс I2C, що мінімізує кількість задіяних портів. Ключовою функцією екрана є відображення поточного кута повороту кожного двигуна в режимі ручного керування, чи режимі запису/відтворення. Це надає користувачеві прямий та точний візуальний контроль, критично важливий для освітнього процесу;

– виконавчий механізм та зворотний зв'язок: Складається з сервоприводів та їхніх драйверів. Сервоприводи обрані за їхню здатність до точного позиціонування. Вони мають вбудовану систему зворотного зв'язку, яка гарантує, що привід досягне та утримає заданий кут. Цей контур зворотного зв'язку є внутрішнім для кожного приводу, що спрощує основний керуючий алгоритм на мікроконтролері. Керуюче ядро перетворює кутові значення на сигнали ШІМ, які сервоприводи використовують для точного позиціонування.

Реалізований принцип прямого кутового керування є основою функціонування даної системи. Він полягає у наступному: для кожного приводу маніпулятора створюється незалежний керуючий канал. Оператор може або безпосередньо маніпулювати кутом через фізичні регулятори, або завантажити програму, що містить список послідовних кутових позицій (наприклад, 5 масивів по 5 кутів, що представляють 5 точок траєкторії).

Програмний код на мікроконтролері просто ітерує цей список, надсилаючи команду на запис (функція `servo.write(angle)`) для кожного приводу по черзі або одночасно. Це дозволяє студентам легко програмувати послідовні рухи, швидко відлагоджувати код і візуально спостерігати, як зміна кута одного шарніра впливає на положення кінцевого ефектора [3].

Система підтримує два основні режими роботи:

– режим ручного покрокового керування: Ідеально підходить для калібрування та вивчення діапазонів руху;

– режим запису/відтворення: Робот послідовно виконує заздалегідь запрограмовану траєкторію, визначену кутами, що імітує виконання технологічної операції, наприклад, зварювання по лінії, нанесення адгезиву на деталі взуття або перекладання предмета.

В операційному режимі система використовує спрощене пряме керування. Однак, у межах дипломної роботи для створення повної теоретичної бази та забезпечення можливості подальшої модернізації, була виконана розробка повної кінематичної моделі робота. Як пряма, так і обернена задачі кінематики були розраховані з використанням методу Денавіта-Хартенберга (Д-Х).

Метод Д-Х дозволив уніфіковано описати просторове розташування кожної ланки маніпулятора відносно попередньої, використовуючи чотири параметри: довжина ланки, кут скручування, зміщення ланки та кут повороту шарніра. Результатом розрахунку є отримання загальних формул для прямої і оберненої кінематики. Розраховані формули можуть бути використані як готовий модуль для подальшої модернізації системи, дозволяючи перейти керування з простору кутів на керування в просторі координат.

У рамках даної роботи було успішно розроблено систему керування навчальним роботом-маніпулятором. Доведено, що застосування принципу прямого кутового керування на базі мікроконтролера Arduino, доповненого візуальним зворотним зв'язком через LCD-дисплей, є оптимальним рішенням для створення доступної та ефективною навчальною платформою.

Створена система дозволяє студентам ефективно вивчати:

- програмування пристроїв за принципом ШІМ;
- керування силовими приводами та їхнє підключення;
- основи планування траєкторій у просторі.

Система є гнучкою, легко модернізується і може бути використана як основа для подальших наукових досліджень, зокрема, для додавання модуля комп'ютерного зору або реалізації оберненої кінематики вже як наступного, складнішого етапу навчання.

Перелік посилань

1. Ніколайчук В.М. Основи робототехніки: Навчальний посібник - Рівне: НУВГП, 2008, – 76 с.
2. Пелевін Л.Є., Почка К. І., Гаркавенко К. І. та ін. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні – К.: Інтерсервіс, 2016. – 258 с.
3. Arduino Documentation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/programming/> (дата звернення 20.11.2025).

**СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ
ТЕКСТИЛЬНИХ І ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ**

Качуринець Д.

Синюк О.М.

Хмельницький національний університет

На сучасному етапі розвитку легкої промисловості проблема утилізації та переробки текстильних і полімерних відходів набуває особливої актуальності. Виробництво одягу, взуття та аксесуарів супроводжується значними обсягами залишків текстилю та полімерних матеріалів, які часто потрапляють на звалища або спалюються, завдаючи шкоди довкіллю. Згідно з дослідженнями Boston Consulting Group «Spinning Textile Waste into Value» [1] у 2024 році в світі було викинуто 120 млн. тон текстильних відходів. У 2024 році приблизно 80% текстильних відходів опинилися на звалищах або сміттєспалювальних заводах, тоді як лише 12% було перероблено повторно у волокна, і значно менше 1% було перероблено у нитки. Відповідно до European Environment Agency [2] у 2022 році в країнах ЄС було близько 6,94 млн тон відходів текстилю, з яких 15 % піддавалося повторній переробці.

Сьогодні у світі активно розвиваються технології механічної переробки (подрібнення, регенерація волокон) та хімічної переробки (розщеплення полімерів до мономерів для подальшого використання). В Україні подібні технології перебувають на стадії впровадження. Деякі підприємства України переробляють текстильні відходи у технічні неткані матеріали, проте масштаб незначний.

Науковці і підприємці зі всього світу спільно намагаються вирішити проблеми переробки і повторного використання текстильних та полімерних відходів [3, 4]. Основні виклики, які характерні для таких досліджень, - це (1) складність розділення змішаних волокон, особливо важко відокремити бавовну від синтетичних компонентів; (2) якість перероблених текстильних волокон часто нижча, ніж у первісних, через зменшення їхньої довжини під час процесів переробки; (3) необхідність створення ефективної інфраструктури збору, сортування та логістики відходів; (4) витрати на додаткові речовини для виготовлення продукції з перероблених відходів не дозволяють конкурувати з дешевими новими матеріалами.

На разі відомо декілька досліджень переробки текстильних та полімерних відходів. Так, у роботі [5] досліджено хімічне розщеплення (деполімеризація) ПЕТ-волокон та подальше їхнє використання у текстильній промисловості, а у роботі [6] розглянуто процес розмелювання поліестеру та використання його у виробництві тканин, килимів тощо. Згадані дослідження передбачають хімічну та механічну переробку поліестеру без врахування його структури та зміни його фізико-механічних властивостей в процесі деформації, що суттєво збільшує енергетичні витрати та витрати на реактиви для їх відновлення. Компанія Air Fibres [7] спеціалізується на переробці відходів з поліестеру шляхом механічного подрібнення з подальшим розплавленням та екструзією. Недоліком цього підходу є низька еластичність отриманого волокна. У роботі [8] представлені сучасні варіанти переробки текстилю, що містить поліестер. З метою розділення бавовни і поліестеру автори запропонували використовувати спеціальні розчинники та хімічні підходи до переробки, що, на нашу думку, призведе до деградації отриманих волокон.

Традиційні методи сортування відходів, зокрема текстильних, є не тільки трудомісткими, але й часто призводять до того, що значна частка відходів залишається поза увагою.

На відміну від розглянутих способів сортування та переробки текстильних і полімерних відходів, запропонований нами автоматизований комплекс переробки відходів із використанням ІІІ є мобільним і може використовуватися безпосередньо на швейних і взуттєвих підприємствах. Завдяки ІІІ він забезпечує автоматичну ідентифікацію та сортування

відходів на групи матеріалів (натуральні, синтетичні та змішані). Крім того, конструкції пристроїв, розробка яких передбачається проєктом, урахуватимуть структуру відходів, а також зміни фізико-механічних властивостей матеріалів під дією руйнівних навантажень, що дозволить переробляти полімерні відходи з мінімальними енерговитратами та отримувати довгі текстильні волокна для виготовлення ниток.

Перелік джерел посилань

1. Spinning textile waste into value [Електронний ресурс]. — Boston Consulting Group, 2025. - Режим доступу: <https://www.bcg.com/publications/2025/spinning-textile-waste-into-value> (дата звернення: 12.10.2025)
2. European Environment Agency. Circularity of the EU textiles value chain in numbers [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/circularity-of-the-eu-textiles-value-chain-in-numbers> (дата звернення: 12.10.2025).
3. Proceedings of the 50th Textile Research Symposium. – TRS 2023 : conference proceedings. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-97-4422-0>.
4. Goutam Bar, Asim Talukdar, Sachi Prasad. Textile Waste Management: Recycling for a Greener Future // The First International Congress of Nature, Science & Technology (NSET-2025-Palandöken). – Erzurum (Türkiye), 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/389919964_Textile_Waste_Management_Recycling_for_a_Greener_Future.
5. Shukla, S. R., Harad, A. M., Jawale, L. S. Recycling of waste PET into useful textile auxiliaries // Waste Management. — 2008. — Vol. 28, No. 1. — P. 51–56. — DOI: 10.1016/j.wasman.2006.11.002.
6. Uses of PET flakes in manufacturing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.recyclingtoday.org/blogs/news/uses-of-pet-flakes-in-manufacturing> (дата звернення: 12.10.2025).
7. Recycled PET [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.ain-fibres.com/recycled-pet/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 12.10.2025).
8. Enking, J., Becker, A., Schu, G., Gausmann, M., Cucurachi, S., Tukker, A., Gries, T. Recycling processes of polyester-containing textile waste – A review // Resources, Conservation and Recycling. — 2025. — Vol. 219. — Article 108256. — ISSN 0921-3449. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2025.108256).

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

Фоменко І.В.

Бабак О.П.

Посонський С.Ф.

Хмельницький національний університет

Нанесення захисних покриттів на деталь або металеву поверхню виконують переважно компактним електродом методом електроіскрового легування ЕІЛ. Електроіскрове легування може наноситися двома способами: контактним і безконтактним. У контактному методі безпосередній контакт відбувається між катодом (зміцнюваним матеріалом) і анодом (електродом).

Безконтактний метод залежить від того, як електроди взаємодіють із певним зазором між ними. Покриття, нанесене методом електроіскрового легування на поверхню ріжучого інструменту або деталі, має відповідати всім вимогам. Таким чином, «чиста» та «груба» обробки є двома різними напрямками електроіскрового легування. Вони відрізняються інтенсивністю процесу ерозії електрода між собою. Поверхня стає більш шорсткою через інтенсивність ерозії. Таким чином, у першому і другому варіантах на поверхні катода утворюються більш тонкі шари. У реальному житті використовуються як перший, так і другий способи, але через те, що поверхня деталі потребує досить точної обробки та має низьку шорсткість, «чисте» зміцнення частіше вибирається.

У процесі електроіскрового легування еродований матеріал анода переноситься на катод, що створює поверхневі шари на катоді. Це відбувається через взаємодію матеріалів електродів і середовища міжелектродного проміжку.

При електроіскровому легуванні кристалізація та взаємодія рідких фаз матеріалу електродів в основному відбуваються на поверхні катода. Вважають, що матеріал електрода (анода) розплавляється, коли він взаємодіє з навколишнім середовищем, а матеріал катода залишається на його поверхні. В результаті фізико-хімічні властивості поверхні анода та катода змінюються.

Характеристики матеріалу, параметри імпульсу, кінематика руху та інші фактори можуть вплинути на динаміку процесу електроіскрового легування.

Процес електроіскрового легування компактними електродами складається з кількох циклів:

- формування електричного контакту між анодом (електродом) та катодом (деталлю), після зближення електродів та пробною міжелектродного проміжку;
- електрична ерозія електродів;
- полярне перенесення та формування поверхневого шару на поверхні катода (деталі або інструменту);
- розрив електричного контакту між анодом та катодом, у момент розбіжності електродів.

Однією з важливих особливостей процесу ЕІЛ може бути можливість формування покриття на робочих поверхнях деталей з рядом фізико-хімічних, механічних та експлуатаційних властивостей. За допомогою варіювання електричних режимів, матеріалів електродів та інших параметрів, можна змінювати структуру, товщину, шорсткість, контролювати рівень залишкових напружень і багато інших властивостей легованих шарів, що формуються.

Мабуть, одним з головних недоліків цього методу є підвищена шорсткість, яка формується в процесі легування і є однією з визначальних характеристик поверхневого шару і має великий вплив на експлуатаційні властивості деталей машин. Дослідження

літературних джерел показали, що шорсткість нанесеного покриття значною мірою залежить від тих чи інших електричних режимів. Також у роботах встановлено, що матеріали електродів їх теплофізичні властивості, режими електроіскрового легування значною мірою визначають шорсткість поверхні.

У зв'язку з цим нами поставлена мета провести експеримент і досліджувати, як впливатимуть електричні режими, а саме потужність розряду (напруги) та частота вібрації анода, на шорсткість одержуваного покриття методом електроіскрового легування.

Проаналізувавши отримані дані і побудувавши по них графіки залежності шорсткості від частоти вібрації електрода і електричних режимів (рис.1) зробили висновок про те, що жорсткість режимів легування, а саме зміна електричних режимів і частот вібрації електрода (анода), призводить до збільшення шорсткості поверхні деталі, в нашому випадку пластини. Зважаючи на те, що тенденція зростання шорсткості поверхні на графіках вийшла різною, тому надалі необхідно провести обробку результатів.

Збільшення шорсткості обробленої поверхні може бути пов'язане з потужністю розряду, від якої може залежати проникнення матеріалу електрода (анода) в деталь (катод). Можна припустити, що зі збільшенням потужності розряду, збільшується не тільки товщина покриття, але й проникнення матеріалу анода на поверхню катода. Отже, можна сказати, що вся потужність розряду, яка надходить на електрод (анод), витрачається на його часткове розплавлення і переноситься на деталь у нашому випадку на пластину (катод).

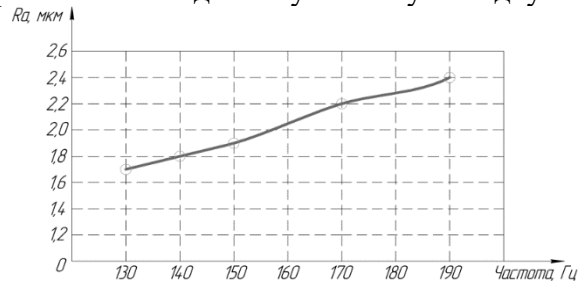


Рис. 1. Залежність шорсткості поверхні деталі від частоти вібрації електрода при напрузі 50 В

Характер зростання товщини покриття і, отже, перенесення та проникнення матеріалу електрода (анода) на деталь (катод), в процесі електроіскрового легування з плином якогось часу може бути обумовлено уповільненням осідання його на деталі (катоді) за рахунок випаровування в навколишнє середовище. Внаслідок того, що товщина покриття, що формується, збільшується зі зростанням потужності розряду, робимо припущення, що і якість поверхні буде ставати значно гіршою, а саме збільшиться шорсткість одержуваної поверхні.

Крім того, ми припускаємо, що початкова шорсткість поверхні катода, а також режими легування можуть бути причиною підвищення шорсткості. Таким чином, ми можемо стверджувати, що наша пластинка має низьку шорсткість поверхні $Ra=1,6$ мкм, що призводить до менших нерівностей. В результаті матеріал анода розплавлятиметься та заповнюватиме їх швидше, ніж на поверхнях із більшою шорсткістю поверхні.

Виходячи з отриманих залежностей, можна надати такі рекомендації:

Найкращим режимом для нанесення покриття методом електроіскрового легування на поверхню деталі, який залежить від високої якості обробки деталей, є один електричний режим з напругою 50В. Так як він більш «м'який» і має меншу шорсткість поверхні, ніж інші режими.

Шліфування можна використовувати як додаткову обробку, щоб зменшити шорсткість поверхні, обробленої електроіскровим методом. Шліфування видаляє частину раніше нанесеного матеріалу, щоб досягти поверхні бажаної якості. Поверхнева пластична деформація (ППД) може бути використана для обробки поверхні. Цей метод дозволяє зменшити як шорсткість поверхні, так і залишкові напруги, що розтягуються.

**СИСТЕМА ЕЛЕКТРИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВАКУУМНОГО
ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДА****Бартков М.С.***Хмельницький національний університет*

У сучасних автоматизованих технологічних процесах все ширше застосовуються стенди для дослідження взаємодії робочих органів із матеріалом, зокрема у взуттєвій та легкій промисловості. Під час роботи з листовими та гнучкими матеріалами особливе значення має точність вимірювання тиску та сили взаємодії. Тому актуальним є створення високоточних випробувальних комплексів на базі недорогих мікроконтролерів з можливістю реєстрації даних у реальному часі.

Запропонований стенд призначений для експериментального визначення тиску в присосках, що утримують плоску деталь, а також для вимірювання зусилля відриву під час розведення рухомих кареток. Основний акцент роботи зроблено на електричній частині установки, яка забезпечує синхронну взаємодію між контролером механіки (Arduino Mega), блоком точного вимірювання (Arduino UNO) та персональним комп'ютером.

Електрична схема складається з чотирьох основних підсистем:

1. Система живлення – включає блок живлення 24 В для крокових двигунів, блок живлення 12 В для вакуумної системи та понижувач до 5 В для контролерів. Такий підхід дозволив розділити силові та сигнальні кола, зменшити рівень електричних завад та підвищити стабільність роботи сенсорів.

2. Система керування приводами – у склад входять два драйвери крокових двигунів, підключені до Arduino Mega. Контролер формує траєкторію руху, виконує зведення присосок, реалізує рух у диференційних та тестових режимах. Фіксація кінцевих положень здійснюється за допомогою лівого та правого кінцевих вимикачів.

3. Система керування вакуумом – складається з релейного модуля та двох електромагнітних клапанів. Arduino Mega подає сигнали на реле, які відкривають або ізолюють ліву та праву присоски відповідно до заданого алгоритму. Окреме третє реле формує сигнал «Start/Stop» для Arduino UNO, що дозволяє точно синхронізувати цикл вимірювання з моментом активації вакууму.

4. Система датчиків та вимірювання – точні вимірювання виконує модуль Arduino UNO. До нього підключені три датчики тиску (загальний, лівий, правий) та тензодатчик сили, підключений через HX711. Окреме обчислювальне ядро UNO забезпечує високу частоту опитування, фільтрацію сигналів (медіанний та ковзний середні фільтри) та передачу даних у комп'ютер через USB без втрати синхронності.

Процес експерименту побудований таким чином, що Mega відповідає за рух та вакуум, тоді як UNO – лише за вимірювання. Це дозволяє уникнути перешкод, пов'язаних із високострумними навантаженнями на лініях двигунів, і забезпечує стабільність цифрового сигналу тиску та сили.

Отримані дані передаються на персональний комп'ютер, де Python-скрипт буде графіки, обчислює контрольні точки (загальний вакуум, ізоляція лівої та правої присоски, максимум сили відриву) та формує таблицю результатів. Це дає змогу використовувати стенд не лише як лабораторний пристрій, а й як інструмент наукових досліджень із високою відтворюваністю.

Запропонована електрична система забезпечує:

- точність відтворення алгоритмічної послідовності;
- високу швидкість та чистоту збору даних;
- повну електричну розв'язку силових і вимірювальних кіл;
- можливість масштабування (підключення додаткових сенсорів або

виконавчих механізмів).

Таким чином, створена електрична частина експериментального стенда може бути використана для випробувань плоских матеріалів, дослідження сил адгезії, оцінки роботи вакуумних присосок різних типів, а також для застосування у навчальних, лабораторних та науково-дослідних роботах.

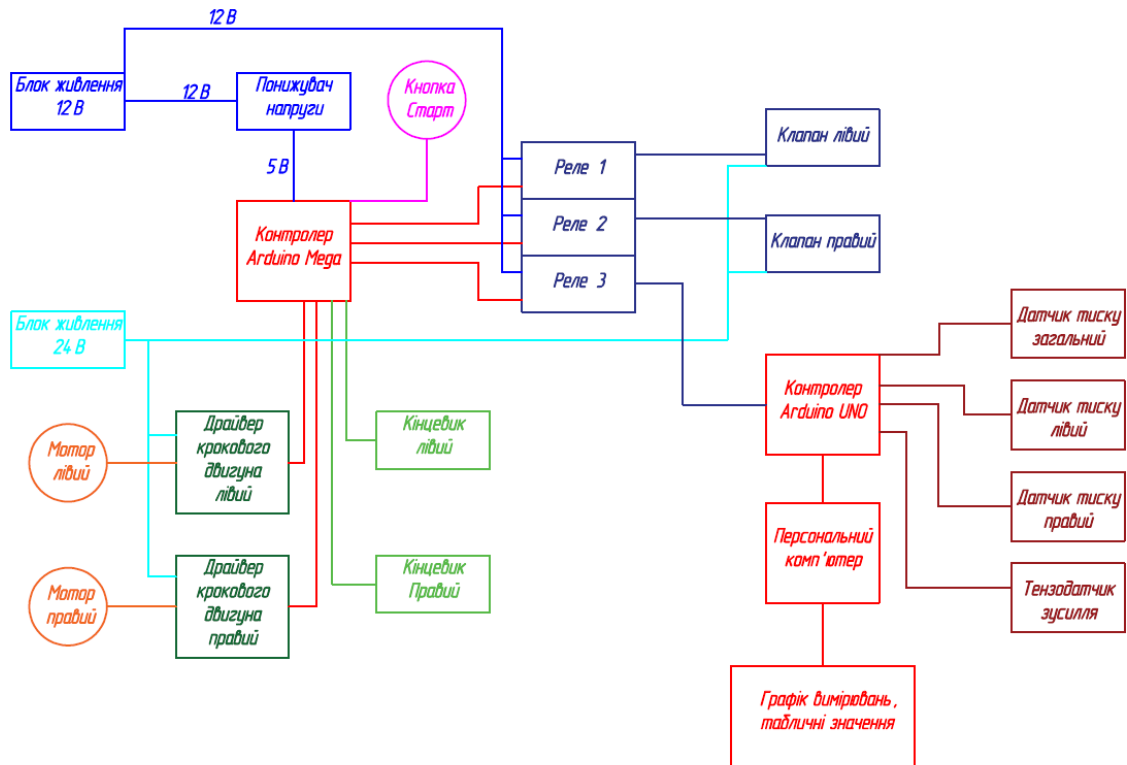


Рис. 1. Блок-схема електричної частини експериментального стенда

Перелік джерел посилань

1. Mikell P. Groover. "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing". Pearson, 2020.
2. ДСТУ ІЕС 61131-3:2018 "Програмовані логічні контролери".

КОМПЛЕКС ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА АНАЛІЗУ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИБОЛОГІЧНИХ ВУЗЛАХ

Литвинов О. О.

Хмельницький національний університет

Дослідження трибологічних процесів є важливим напрямком для забезпечення надійності та довговічності машин і механізмів. Контроль стану вузлів тертя дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях і прогнозувати ресурс обладнання. Вібруючі сигнали, що виникають у процесі роботи трибосистем, містять цінну інформацію про характер зношування та зміни режимів тертя. Аналіз цих сигналів дає змогу оцінювати стан вузлів без їх розбирання [1]. Актуальність використання вібродіагностики зумовлена потребою підвищення точності та ефективності контролю експлуатаційного стану трибологічних систем.

Стенд для вібраційної діагностики трибологічних вузлів являє собою комплекс електронних та програмних компонентів, що забезпечують реєстрацію, обробку та візуалізацію вібраційного сигналу [2]. Його основна задача — перетворення механічних коливань у цифрову форму, обробка сигналу та подання результатів у вигляді графіків, що дозволяють кількісно оцінювати стан трибосистем. Стенд складається з датчика, модуля зсуву сигналу (DC-offset), контролера Arduino Mega та програмного забезпечення для аналізу та візуалізації даних. Така конструкція дозволяє отримувати точні результати у реальному часі та забезпечує гнучкість у налаштуванні експериментальних досліджень.

Стенд складається з наступних компонентів:

1. Вібродатчик - п'єзоелектричний вібродатчик, який перетворює механічні коливання на електричний сигнал. Датчик встановлюється на контрольованому трибологічному вузлі, фіксуючи навіть незначні коливання, що виникають у процесі тертя.

2. Модуль DC-offset (рис. 1) - сигнал від вібродатчика проходить через модуль, який підвищує рівень сигналу на 2,5 В. Це забезпечує оптимальний діапазон напруги для подальшої обробки на електронних компонентах і запобігає спотворенню сигналу.

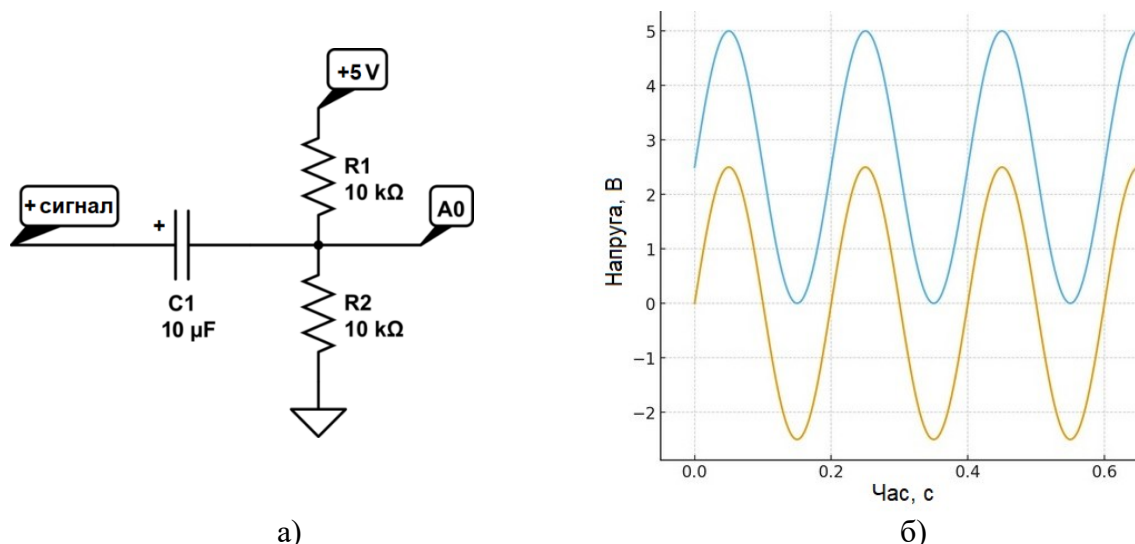


Рис. 1. Модуль DC-offset: а) схема електрична принципова; б) зміщення сигналу на 2,5в.

3. Плата Arduino Mega - обробка сигналу здійснюється на Arduino Mega, яка виконує цифрову обробку даних у реальному часі. Плата отримує сигнал, обробляє його та передає на комп'ютер для подальшого аналізу.

4. Аналіз сигналу - на комп'ютері сигнал аналізується для побудови графіків вібраційних процесів, зокрема середньоквадратичного значення (RMS). Це дозволяє кількісно оцінювати стан трибологічного вузла та виявляти зміни у роботі контактних поверхонь.

Процес експерименту побудований таким чином (рис. 2), що п'єзоелектричний вібродатчик встановлюється безпосередньо на досліджуваний трибологічний вузол. Для запуску запису сигналу використовується окрема фізична кнопка, під'єднана до плати Arduino Mega. У момент натискання кнопки засвічується оранжевий світлодіод, також підключений до Arduino, що сигналізує про початок вимірювання. Сигнал від датчика надходить на Arduino, де обробляється в реальному часі та передається на комп'ютер для аналізу. Одночасно з цим на комп'ютері, починає будуватися графік сигналу, а дані паралельно записуються в таблицю Excel. Тривалість запису залежить від досліджуваного вузла і зазвичай становить до 20 секунд. Після завершення експерименту оранжевий світлодіод гасне, сигналізуючи про кінець запису. Автоматично зберігається файл Excel, а також робиться скріншот отриманого графіка вібраційного сигналу для подальшого аналізу та візуалізації результатів.

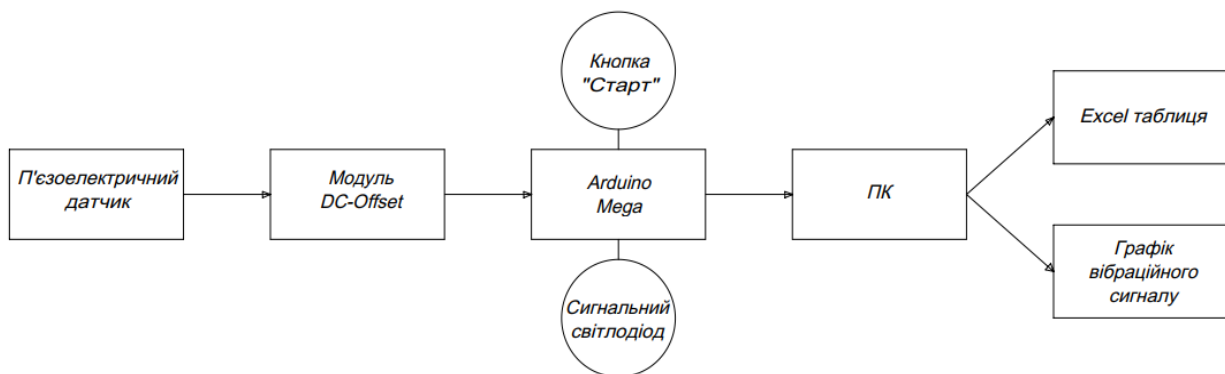


Рис. 2. Блок-схема електричної частини експериментального стенда

Розроблений вібродіагностичний комплекс має низку переваг.

- Висока швидкість передачі даних до 5 кГц забезпечує точну фіксацію швидких коливань трибологічного вузла та дозволяє аналізувати навіть короточасні імпульсні процеси.

- Одночасна побудова графіка сигналу та запис даних у Excel дозволяє досліднику контролювати процес вимірювання в режимі реального часу.

- Можливість налаштування системи під різні вузли тертя – можна змінювати як частоту отримання даних, так час дослідження, так і метод опрацювання даних.

Розроблений комплекс вібраційної діагностики є ефективним інструментом для дослідження трибологічних процесів. Він дозволяє отримувати точні кількісні характеристики вібраційних сигналів, оцінювати стан вузлів та своєчасно виявляти відхилення від нормального функціонування і може використовуватися як у лабораторних умовах, так і в промисловому середовищі для контролю стану трибологічних систем.

Перелік джерел посилань

1. K. Shahzad, P. Cheng, and B. Oelmann, "Architecture exploration for a high-performance and low-power wireless vibration analyzer," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 670–682, 2012. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6338999>
2. Mikell P. Groover. "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing". Pearson, 2020.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ КАВІТАЦІЙНОМУ ІМПРЕГНУВАННІ

Єрій А.
Синюк О.М.

Хмельницький національний університет

Одним з перспективних методів імпрегнування текстильних матеріалів є кавітаційне просочування [1]. Автори роботи [2] продемонстрували, що даний метод має ряд суттєвих переваг перед іншими, зокрема: вища швидкість просочування, вища ефективність утримання імпрегнату в товщі матеріалу та вищий показник проникнення. Важливим фактором, що визначає можливість використання даного методу є вплив обробки на механічні характеристики зразків обробленого матеріалу.

В ході вивчення методу кавітаційного імпрегнування експериментальним шляхом було досліджено вплив ультразвукового кавітаційного поля на структури тканини. Дослідження зносостійкості матеріалу при кавітаційній обробці було проведено на машині УЗДН А. В якості імпрегнату (рідини в яку було занурено дослідний зразок), використовувалась дистильована вода, з температурою – 12 °С. Глибина занурення при кавітаційній обробці складала 1 см, робоча частота установки 22 кГц, максимальна вихідна електрична потужність блоку живлення на еквіваленті навантаження, не більше 130 Вт, вхідна потужність установки 300 Вт.

В якості дослідного зразка обрано заготовку з матеріалу "бавовна", з наступними характеристиками плетіння:

- рапорт полотняного переплетення має наступні характеристики: $R_o = R_{oy} = 2$ (нитки), де R – рапорт переплетення (число перекриттів у напрямку ниток основи і утку, після яких чергування перекриттів повторюється), R_o – рапорт переплетення по основи (число ниток основи, після яких чергування перекриттів в напрямку утку повторюється), R_y – рапорт переплетення по утку (число ниток утку, після яких чергування перекриттів в напрямку основи повторюється);

- перекриття: $\eta_{Fo} = \eta_{Fy} = 1$, де η_F – перекриття (місце, в якому перетинаються нитки основи й утку); η_{Fo} – основне перекриття (місце на лицьовій стороні тканини, в якому нитка основи розташовується над ниткою утку); η_{Fy} – утокове перекриття (місце на лицьовій стороні тканини, в якому нитка утку розташовується над ниткою основи);

- зсув $S_o = S_y = 1$, де S – число, що означає на скільки ниток видалено одиночне перекриття від аналогічного попереднього перекриття; S_o – вертикальний зсув (кількість ниток утку між двома одиночними основними перекриттями); S_y – горизонтальний зсув (кількість ниток основи між двома одиночними утковими перекриттями).

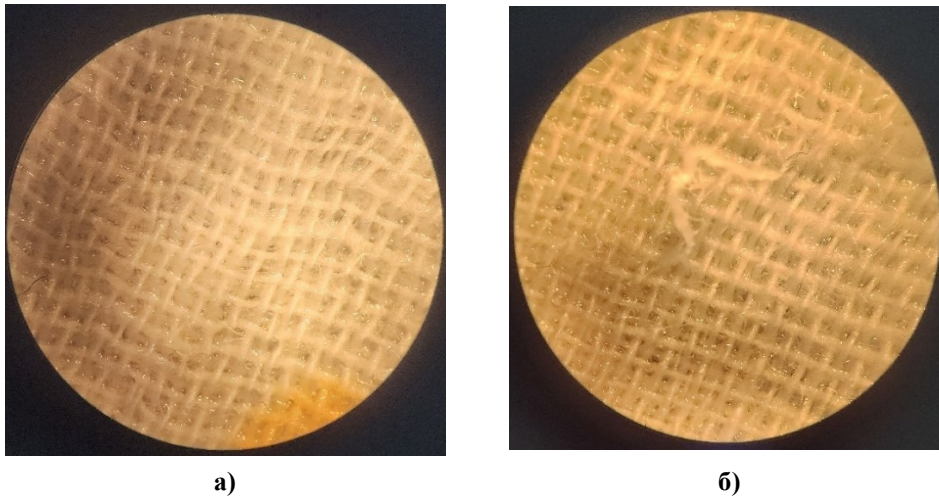
Загальний вигляд зафіксованого на матриці дослідної установки зразка наведено на рисунку 1.

В результаті проведення експериментального дослідження встановлено, що вплив кавітації на структуру матеріалу не значний та не змінює її властивості при короткотривалих термінах обробки. При довготривалій обробці матеріалу тривалістю до 30 хв, структура матеріалу та цільність волокон зберігається при вище зазначеній температурі обробки (рис. 2, а). Руйнівний вплив на тканину при інтенсивній кавітаційній обробці поверхні матеріалу спостерігається при тривалості обробки в 45 хв (рис. 2, б), помітні незначні зміщення волокон, що частково спричинено гідродинамічним впливом рідини на тканину.

Враховуючи те, що просочування грубих, багатошарових матеріалів при кавітаційній обробці імпрегнатом відбувається в короткі терміни (до 1 хв) [2], можна стверджувати, що кавітаційна обробка є безпечною та не чинить руйнівного впливу на тканини.



Рис.1. Загальний вигляд зафіксованого на матриці дослідної установки зразка



а) – зразок матеріалу при тривалості обробки 30 хв;
б) – зразок матеріалу при тривалості обробки 45 хв

Рис.2. Результати дослідження впливу кавітаційного методу на структуру тканини

Провівши порівняльний аналіз переплетення волокон дослідного зразка до початку обробки та після її закінчення встановлено, що кавітація не чинить значного впливу на структуру матеріалу та цілісність волокон, що в свою чергу вказує на придатність методу до подальшого вивчення та впровадження в текстильну промисловість.

Для покращення оцінки методу рекомендується здійснити ряд досліджень на механічну стійкість текстильних матеріалів, що піддавались кавітаційній обробці.

Перелік джерел посилань

1. Дослідження сучасних методів та технологічного устаткування для імпрегнування текстильних матеріалів / О. М. Синюк, А. В. Єрій. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2025. № 5.1.

2. Єрій А. В., Синюк О. М. Дослідження ефективності кавітаційного методу імпрегнування текстильних матеріалів. *Innovative technologies and materials for industry and the environment dedicated to the 10th anniversary of the Mineral Research Laboratory: Conference Proceedings*. : International Scientific and Technical Conference, м. Khmelnytskyi, 11–12 груд. 2025 р. Khmelnytskyi, 2025. С. 210.

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛУ КАМЕРИ ПОВІТРЯМ НА ЧАС ІМПУЛЬСУ В ПНЕВМАТИЧНОМУ ПРИСТРОЇ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕННЯ СИНТЕТИЧНОГО ПУХУ

Лонський В.О.
Кармаліта А.К.

Хмельницький національний університет

Ефективність пневматичного розподілення синтетичного пуху в камерах деталей верхнього одягу визначається сукупністю аеродинамічних, конструктивних і матеріалознавчих чинників, серед яких ключове місце займає ступінь проникності матеріалу камери повітрям. Саме цей параметр формує режим руху повітряного потоку, рівень його енергетичних втрат і, відповідно, тривалість дії пневматичного імпульсу, необхідну для керованого переміщення та рівномірного розподілу наповнювача в об'ємі камери.

Матеріали камер із синтетичним пухового наповнювача належать до пористих текстильних середовищ, у яких повітряний потік проходить через систему міжволоконних пор. Ступінь проникності таких матеріалів визначається пористістю ε , товщиною L , діаметром волокон d_f , щільністю структури, характером переплетення або способом формування нетканого полотна, а також наявністю оздоблювальних і гідрофобних покриттів. Зі зменшенням пористості та зростанням щільності матеріалу формується різке підвищення аеродинамічного опору, що безпосередньо впливає на параметри імпульсного впливу.

Аналітичний опис фільтрації повітря через матеріал камери базується на законі Дарсі:

$$v = \left(\frac{k}{\mu}\right) \cdot \left(\frac{\Delta P}{L}\right),$$

де v — швидкість фільтрації, k — коефіцієнт проникності, μ — динамічна в'язкість повітря, ΔP — перепад тиску, L — товщина матеріалу.

З аналізу цієї залежності випливає, що при зменшенні k у кілька разів швидкість проходження повітря зменшується пропорційно, а отже, час імпульсу повинен зростати обернено пропорційно проникності матеріалу за фіксованого тиску подачі. Більш детальний зв'язок між проникністю та структурними параметрами матеріалу описується рівнянням Кармана–Козені:

$$K = \left(\frac{\varepsilon^3}{[C \cdot (1 - \varepsilon)^2]}\right) \cdot d_f^2,$$

де ε — пористість, d_f — середній діаметр волокон, C — структурна константа, що враховує форму та хаотичність укладання волокон.

З даної залежності видно, що проникність змінюється нелінійно: навіть незначне зменшення ε або d_f призводить до різкого зростання опору. Це має принципове значення для камер, виготовлених із щільних підкладкових матеріалів, ламінованих тканин та нетканих полотен.

Режим руху повітря в камері визначається числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{(\rho \cdot v \cdot d_h)}{\mu},$$

де ρ — густина повітря, d_h — гідравлічний діаметр пор. При $Re < 1$ реалізується ламінарний режим, у якому втрати енергії є мінімальними, а дія імпульсу — більш

передбачуваною. При $Re > 10$ відбувається перехід до турбулентного режиму, що різко підвищує інерційні втрати енергії. У цьому випадку тиск визначається рівнянням Ергана–Форхгеймера:

$$\Delta P = \left(\frac{\mu}{k}\right) \cdot L \cdot v + \beta \cdot \rho \cdot L \cdot v^2,$$

де β — коефіцієнт інерційного опору.

Аналітичний розгляд показує, що за малих значень k домінуючою стає інерційна квадратична складова, унаслідок чого тривалість імпульсу зростає нелінійно, навіть при незначному підвищенні швидкості повітряного потоку. Переміщення частинок синтетичного пуху відбувається під дією різниці між силою повітряного струменя та силою аеродинамічного опору:

$$M \cdot \left(\frac{dv_p}{dt}\right) = F_{c.п.} - F_{c.o.},$$

де $F_{c.п.}$ — сила дії повітряного струменя, $F_{c.o.}$ — сила опору з боку пуху та матеріалу камери. Зі зменшенням проникності матеріалу істотно зростає величина $F_{c.o.}$, що зменшує прискорення частинок наповнювача. За таких умов для досягнення необхідного переміщення пуху потрібне або збільшення тривалості імпульсу, або підвищення тиску та швидкості повітряного потоку.

До основних типів матеріалів камер, що застосовуються у виробках із синтетичним пухом, належать:

Підкладкові тканини поліефірної групи (PES, PA) — характеризуються середньою проникністю, стабільною геометрією та низьким водопоглинанням. Такі матеріали забезпечують збалансований режим проходження імпульсу без різких втрат енергії.

Неткані матеріали — мають підвищену щільність, хаотичну структуру волокон і, відповідно, знижену проникність. Для них характерне зростання інерційного опору, що призводить до подовження тривалості імпульсу.

Ламіновані та мембранні матеріали — відзначаються різко обмеженою повітропроникністю. У таких камерах значна частина енергії імпульсу витрачається на деформацію стінок і формування зворотних потоків, що ускладнює керований розподіл пуху.

Комбіновані багатошарові матеріали — характеризуються різною проникністю по товщині, що призводить до складного розподілу швидкостей і зон підвищеного тиску всередині камери.

Аналіз показує, що при переході від високопроникних до малопроникних матеріалів спостерігається системне зростання тривалості пневматичного імпульсу, збільшення втрат енергії та підвищення ймовірності локального ущільнення наповнювача.

Додатковим керуючим фактором є конструкція сопла пневматичного пристрою. Конвергентні сопла формують дозвуковий потік і є ефективними для матеріалів із середньою та високою проникністю. Конвергентно-дивергентні сопла (сопла Лавалю) дозволяють формувати надшвидкісний потік, швидкість якого описується співвідношенням:

$$V = \sqrt{\left[\gamma r t \cdot \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \right]}.$$

Зростання швидкості безпосередньо збільшує $F_{c.п.}$, що дозволяє частково компенсувати високий аеродинамічний опір мало проникних матеріалів камер та скоротити необхідну тривалість імпульсу при незмінній масі пуху.

Таким чином, ступінь проникності матеріалу камери є базовим керуючим параметром, який визначає режим руху повітря, домінуючі складові аеродинамічного опору та кінематику переміщення синтетичного пуху. Зменшення проникності призводить не лише до лінійного, а й до суттєвого нелінійного зростання тривалості пневматичного імпульсу за рахунок інерційних втрат. Оптимізація структури матеріалу камери, раціональний вибір типу тканини та параметрів пневматичного пристрою є необхідною умовою підвищення стабільності процесу розподілення пуху, зниження енерговитрат і покращення експлуатаційних характеристик готових виробів.

Перелік джерел посилань

1. Бабич А. І. Технологія виготовлення виробів з різних матеріалів. Київ: КНУТД, 2021. 248 с.
2. Супрун Н. П., Шустов Ю. С. Основи текстильного матеріалознавства. Київ: КНУТД, 2009. 292 с.
3. Williams J. T. Textiles for Cold Weather Apparel. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. 410 p.
4. Михайлова Г., Форостяна Н. Теплозахисні властивості ковдр із об'ємними наповнювачами // Товари і ринки. 2016. №1. С. 96–105.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИСАДОК, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Гетьман М.В.

Хмельницький національний університет

Недоліки рослинних олій, зокрема їхня низька термоокиснювальна стабільність і погані низькотемпературні характеристики, можуть бути значно зменшені шляхом введення спеціальних присадок. У виробництві мастильних матеріалів на основі рослинних олій той самий тип базової олії може використовуватись у різних рецептурах, а потрібні експлуатаційні властивості досягаються завдяки добору різних типів добавок залежно від сфери застосування.

Зазвичай вміст присадок становить до 5% масової частки мастильного матеріалу. Такі компоненти істотно впливають на покращення робочих характеристик біомасил — підвищують захист від корозійного впливу, зменшують коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування поверхонь тертя.

У цілому, біорозкладні ефіри, модифіковані відповідними присадками, демонструють значно вищу ефективність у порівнянні з немодифікованими оліями або простими сумішами рослинних базових олій. Це проявляється передусім у підвищеній стійкості до зносу та тривалому збереженні мастильних властивостей.

Антиоксиданти

Антиоксиданти належать до групи присадок, що запобігають або сповільнюють процеси окислення мастильних матеріалів, забезпечуючи стабільність їх складу та відповідність технічним вимогам. Основна дія таких сполук полягає в гальмуванні реакцій автоокиснення, які відбуваються під впливом кисню, тепла чи каталізаторів.

За механізмом впливу антиоксиданти поділяють на первинні (ланцюгові або радикальні інгібітори) та вторинні (поглиначі кисню або руйнівники перекисів). Часто в рецептурах масил застосовують їх комбінації, що забезпечує синергічний ефект і підвищує загальну окиснювальну стабільність системи.

Первинні антиоксиданти переривають ланцюгову реакцію, реагуючи з вільними радикалами та утворюючи стабільні сполуки, які не беруть подальшої участі в процесі окиснення.

На відміну від них, вторинні антиоксиданти переважно виступають у ролі поглиначів кисню, не нейтралізуючи радикали безпосередньо, а перетворюючи реакційно здатні проміжні продукти (наприклад, гідропероксиди) у стабільні сполуки.

У низці експериментальних досліджень було показано, що додавання антиоксидантів до рослинних олій істотно підвищує їхню окиснювальну стабільність. Зокрема, діамілдитіокарбамат цинку (ZDDC) продемонстрував найвищу ефективність у соєвій олії, перевищуючи активність таких сполук, як ВНТ та алкілований фенол/дитіофосфат/дифеніламіновий ефір.

Миючі та диспергуючі присадки (DDA)

Миючі й диспергуючі присадки відіграють ключову роль у підтриманні стабільної роботи двигуна, забезпечуючи його чистоту, збільшуючи ресурс експлуатації мастильного матеріалу та покращуючи загальну ефективність змащування. Під час згоряння палива в циліндрах часто утворюється вуглецевий осад, спричинений неповним процесом згоряння, який накопичується у вигляді нерозчинних у масилі сполук. Саме в таких умовах детергентні компоненти виявляють свою високу ефективність, перешкоджаючи утворенню та осіданню шламових відкладень на поверхнях двигуна.

Диспергуючі присадки, у свою чергу, діють за іншим принципом: вони не дозволяють уже наявним частинкам осаду об'єднуватися та осідати, підтримуючи їх рівномірно

розподіленими у мастильному середовищі. Сучасні формули мастильних матеріалів часто включають багатофункціональні добавки, що поєднують детергентні та диспергуючі властивості в одній сполуці.

До найбільш поширених DDA належать: металеві сульфонати, беззольні сульфонати.

Модифікатори в'язкості

Рослинні олії за своєю природою характеризуються підвищеним індексом в'язкості (VI), що свідчить про здатність таких олій утримувати стабільний рівень в'язкісних властивостей у ширшому температурному інтервалі, ніж це спостерігається у мінеральних аналогів. Для покращення термостійкості мастильних композицій застосовують модифікатори в'язкості — спеціальні полімерні добавки, які сприяють збереженню оптимальної в'язкості навіть за умов підвищених температур.

Механізм їх дії полягає у взаємодії полімерних ланцюгів з олійною основою, що призводить до збільшення ефективного розміру молекул у мастильному середовищі. У результаті цього поліпшується зчеплення з поверхнею тертя, а мастильний шар залишається більш стійким і менш схильним до витікання

Наночастинки

У сучасних дослідженнях наночастинки розглядаються як перспективні добавки для мастильних матеріалів на біологічній основі, здатні значно зменшувати тертя та знос. Завдяки екологічним характеристикам наночастинки часто вважаються більш привабливими, ніж традиційні протизадирні та протизносні присадки. Ефективність таких матеріалів залежить від фізико-хімічних параметрів наночастинок, зокрема від їхнього розміру, морфології та концентрації у маслі.

Дослідження показали, що добавка TiO_2 , CuO або ZnO позитивно впливає на трибологічні властивості мастильних матеріалів на рослинній основі. Наприклад, у експериментах з хімічно модифікованою ріпаковою олією відзначено зниження коефіцієнта тертя (CoF) на 15,2% при введенні сферичних наночастинок TiO_2 , які виконують функцію шарикопідшипників, зменшуючи контакт між поверхнями тертя. Крім того, зносова глибина (WSD) зменшується на 11%, а сліди на поверхні стають більш рівномірними.

Інгібітори корозії

Інгібітори корозії являють собою спеціальні присадки, що забезпечують захист металевих поверхонь від впливу кисню, води, кислот, лугів та солей. Механізм їх дії базується на фізичній адсорбції на металі через полярні функціональні групи, що формують пружну захисну плівку та підтримують взаємодію з мастилом, запобігаючи прямому контакту металу з агресивним середовищем.

Протягом останніх років проведено численні дослідження, спрямовані на оцінку ефективності інгібіторів корозії в мастильних матеріалах на біологічній основі. Так, показано, що борвмісні присадки здатні підвищувати корозійний вплив на сталь, тоді як на мідь вони діють менш агресивно. Така різниця пояснюється хімічною взаємодією між моноетаноламіном бору (BMEA) та 2,5-димеркапто-1,3,4-тіадіазолом (DMTD), що призводить до утворення твердих осадів, які адсорбуються на мідній поверхні та збільшують її масу.

ВПЛИВ СИРОВИННОГО СКЛАДУ ТА ТИПУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ МАТЕРІАЛУ НА ЯКІСТЬ РОЗВОЛОКНЕННЯ

Пасатюк В.
Синюк О.М.

Хмельницький національний університет

У сучасний період розвитку легкої промисловості проблема утилізації та переробки відходів текстилю й полімерів набуває особливої значущості. Виробництво одягу, взуття та аксесуарів призводить до утворення великих обсягів залишків текстильних і полімерних матеріалів, які часто потрапляють на полігони або піддаються спаленню, що завдає серйозної шкоди екології. У глобальному масштабі активно вдосконалюються технології механічної переробки (подрібнення та відновлення волокон) та хімічної (деполімеризація до мономерів для повторного застосування). В Україні такі технології перебувають на стадії впровадження. Деякі вітчизняні підприємства займаються переробкою текстильних відходів у технічні неткані матеріали, проте обсяги цієї діяльності залишаються обмеженими.

В процесі дослідження факторів які впливають на якість регенерованих волокон було визначено, що існуючі дослідження процесів розволокнення текстильних матеріалів мають фрагментарний характер та не враховують комплексний вплив різноманітних факторів на якість кінцевого продукту. Зокрема, Б. Ютебай та співавтори досліджували вплив властивостей бавовняних текстильних відходів на якість регенерованих волокон, проте не розглядали вплив параметрів процесу розволокнення на збереження довжини волокна [1]. Аналогічно, роботи Л. Йоханссон зосереджувалися на механічній переробці тканих матеріалів, але не враховували структурні зміни волокон під час розволокнення [2]. К. Ліндстрьом запропонував методи покращення механічної переробки текстилю за допомогою змащувальних речовин для зменшення втрати довжини волокон, проте не розглядав комплексний вплив різних типів текстильних матеріалів на ефективність даного методу [3]. Таким чином, незважаючи на значний науковий доробок у сфері переробки текстильних відходів, відсутній системний підхід до аналізу параметрів розволокнення, який враховував би всі ключові фактори, що впливають на якість регенерованих волокон.

Мета роботи полягає у розробці методології комплексного аналізу параметрів розволокнення текстильних матеріалів з метою оптимізації процесів рециклінгу та підвищення ефективності ресурсозбереження у текстильній промисловості. Наукова новизна дослідження полягає у систематизації та інтеграції факторів впливу на процес розволокнення різних типів текстильних матеріалів, розробці класифікації параметрів розволокнення та визначенні критеріїв оцінки ефективності процесу розволокнення для різних типів текстильних відходів. Практична значущість роботи полягає у розробці рекомендацій щодо оптимізації процесів розволокнення для підвищення якості регенерованих волокон та розширення можливостей їх застосування у виробництві нових текстильних виробів, що сприятиме впровадженню принципів циркулярної економіки у текстильну промисловість. Властивості вихідного текстильного матеріалу є ключовими факторами, які визначають ефективність процесу розволокнення та якість регенерованих волокон. На основі аналізу літературних джерел [1, 4, 6] визначено наступні параметри вихідного матеріалу, які впливають на процес розволокнення.

На основі аналізу літературних джерел [1, 4, 6] визначено низку параметрів вихідного матеріалу, що здійснюють визначальний вплив на процес розволокнення текстильних матеріалів. Дослідження показують, що тип волокон суттєво впливає на механічні властивості та поведінку матеріалу під час розволокнення. Згідно з роботою Я. Аронссона та А. Перссона, бавовняні волокна демонструють кращу здатність до розволокнення порівняно з

синтетичними, проте зазнають значніших втрат міцності та довжини у процесі переробки [4]. Натомість, синтетичні волокна, особливо поліестерні, краще зберігають свої механічні характеристики, хоча їх розволокнення потребує більших енергетичних витрат, на основі викладеного пропонується розробити універсальну форму зуба розволокнюючої машини для використання для сумішевих тканин з різним співвідношенням поліестеру та бавовни.

Структура тканини (ткана, трикотажна чи нетканина) також відіграє вирішальну роль у визначенні складності розволокнення та ступеня пошкодження волокон. Дослідження Б. Ютебай та співавторів демонструють, що трикотажні структури піддаються розволокненню значно легше порівняно з тканими завдяки менш щільній структурі та меншій кількості переплетень волокон [1]. Ткані структури, особливо високої щільності, вимагають інтенсивнішого механічного впливу для розволокнення, що спричиняє більші пошкодження волокон. Щільність тканини безпосередньо впливає на ступінь складності розволокнення. М. Юксеккая та співавтори встановили, що тканини вищої щільності потребують інтенсивнішого механічного впливу для розволокнення, що призводить до суттєвішого пошкодження волокон та зменшення їх довжини [6]. Згідно з їхніми дослідженнями, при збільшенні щільності тканини на кожні 50 г/м² середня довжина регенерованих волокон зменшується на 10-15%, для переробки матеріалу високої щільності пропонується попереднє розрихлення валками для зменшення щільності. Ступінь зношеності матеріалу визначає механічні властивості волокон та їх здатність зберігати цілісність під час розволокнення. Дослідження Я. Аронссона та А. Перссона виявили, що зі збільшенням ступеня зношеності матеріалу зменшується міцність волокон, що призводить до їх більшого пошкодження під час розволокнення [4]. Зокрема, було встановлено, що бавовняні волокна зі зношених тканин демонструють міцність на 30-40% нижчу порівняно з незношеними зразками.

Наявність обробки (фарбування, друк, фінішна обробка) може суттєво впливати на фізико-механічні властивості волокон та їх поведінку під час розволокнення. М. Маяттанен та співавтори виявили, що фарбовані тканини мають відмінну структуру волокон порівняно з нефарбованими, що впливає на процес розволокнення [5]. Зокрема, певні типи барвників можуть змінювати механічні властивості волокон, роблячи їх більш крихкими або, навпаки, еластичнішими.

Вміст вологи у матеріалі також відіграє важливу роль, впливаючи на еластичність волокон та їх стійкість до механічних пошкоджень під час розволокнення. Л. Лю та співавтори встановили, що оптимальний вміст вологи у бавовняних матеріалах перед розволокненням становить 8-10%, що дозволяє зменшити пошкодження волокон та підвищити ефективність процесу [7].

Отже з вище викладеного ми можемо зробити висновок що найбільший вплив на якість вихідної сировини становить щільність, тип структури та тип волокна саме ці параметри є визначальними для довжини регенерованих волокон з відходів розкрою.

Перелік джерел посилань

1. Ütebay B., Çelik P., Çay A. Effects of cotton textile waste properties on recycled fibre quality. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 222.
2. Johansson L. On the mechanical recycling of woven fabrics: improving the reusable fibre yield of mechanical methods. Uppsala: Uppsala University, 2020.
3. Lindström K. Improving mechanical textile recycling by lubricant pre-treatment to mitigate length loss of fibers. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. P. 8706.
4. Aronsson J., Persson A. Tearing of post-consumer cotton T-shirts and jeans of varying degree of wear. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2020. Vol. 15.
5. Määttänen M. Colour management in circular economy: decolourization of cotton waste. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2019. Vol. 23, No. 2.
6. Yuksekkaya M. E. et al. A comparative study of physical properties of yarns and fabrics produced from virgin and recycled fibers. *J Eng Fibers Fabr*. 2016.
7. Lu L. Current recycling strategies and high-value utilization of waste cotton. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 856

ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНОГО АЛГОРИТМУ СИНТЕЗУ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

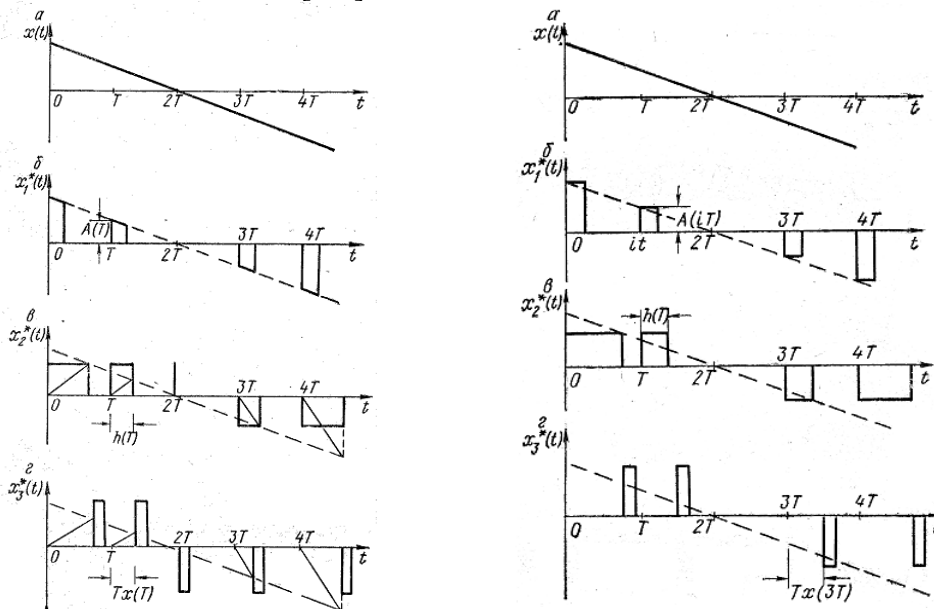
Бардадимов В.В., Форкун Ю.В., Макаришкін Д.А.

Хмельницький національний університет

На сучасному етапі розвитку в різних галузях техніки використовуються так звані імпульсні системи (ІС). Якість роботи ІС пов'язана із отриманням необхідних характеристик, як в перехідних, так і в усталених режимах роботи, що вимагає розробки спеціальних спектральних методів аналізу і синтезу.

Системи автоматичного керування (САК), в яких поряд з безперервними діють імпульсно-модульовані сигнали, носять назву ІС. Імпульсно-модульовані сигнали (ІМС) представляють послідовності імпульсів, у яких один або декілька параметрів змінюються за певним часовим законом. Такими параметрами є: амплітуда імпульсів, тривалість та, звичайно, період повторення (або період комутації) [1-5].

Часовий закон, за яким змінюється той чи інший параметр імпульсної послідовності, носить назву модулюючої функції або закону модуляції. В залежності від того, який з перерахованих параметрів регулюється, розрізняють: амплітудну імпульсну модуляцію; широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ); тимчасову імпульсну модуляцію. Крім того, класифікують також і 2 види модуляцій імпульсної послідовності. Якщо параметри імпульсної послідовності змінюються відповідно до поточного значення модулюючої функції, то така модуляція носить назву імпульсної модуляції першого виду (або ІМ-1). При цьому амплітуда імпульсів змінюється протягом часу існування імпульсів, і тривалість імпульсів, їх положення на осі часу або частота визначаються значенням модулюючої функції в моменти часу, визначені через інтервали, в загальному випадку не рівні періоду слідування вихідної, немодульованої послідовності [1-5].



а – моделююча функція; б – зміна амплітуди імпульсу; в – зміна тривалості імпульсів;
г – зміна періоду слідування імпульсів

Рис. 1. Загальний вигляд ІМ-1 та ІМ-2:

На відміну від ІМ-1, при імпульсній модуляції другого виду (ІМ-2) параметри вихідної послідовності змінюються в залежності від значень модулюючої функції у фіксовані моменти часу, що відстають один від одного на стандартні інтервали, що дорівнюють періоду слідування.

Модулятори, в яких використовуються ІМ-1 або ІМ-2, носять назву імпульсних елементів (ІЕ) або інакше, ключів. В залежності від виду модуляції, ІЕ класифікують на амплітудні, широтні і тимчасові (фазові або частотні), відповідно або першого або другого рядів. Основними параметрами ІЕ є наступні: період часу повторення вихідних імпульсів, тривалість імпульсів і форма імпульсів. Як очевидно, амплітудні ІЕ володіють сталими параметрами, в той час як в широтних і тимчасових ІЕ – параметри перемінні [1-5].

У статичному режимі роботи ІЕ, як і всі інші елементи САК, характеризуються статичною характеристикою, під якою розуміють залежність модульованого параметра імпульсної послідовності від дискретних значень самої модулюючої функції. Дані характеристики можуть бути як лінійними так і нелінійними. Зокрема, статичні характеристики частотних та широтних ІЕ представляють парні функції власних аргументів, а, відповідно, фазових і амплітудних - непарні функції.

Крім ІЕ, до складу будь-якої імпульсної САК входить безперервна частина, яка багато в чому визначає динамічні властивості САК. В залежності від типу і властивостей ІЕ, а також безперервної частини ІС класифікують на наступні види [1-5]:

- лінійні імпульсні САК із сталими параметрами – тобто такі системи, в яких ІЕ і безперервна частина САК лінійні і містять лише сталі параметри;
- лінійні імпульсні САК зі перемінними параметрами, якщо ІЕ і безперервна частина лінійні, але володіють перемінними параметрами;
- нелінійні імпульсні САК, якщо хоча б одна з складових частин системи володіє нелінійною статичною характеристикою. У свою чергу нелінійні імпульсні САК класифікують на нестационарні та стаціонарні.

До лінійних імпульсних САК відносяться тільки ті САК, до складу яких входять амплітудний ІЕ і лінійна безперервна частина (ЛБЧ). Клас нелінійних імпульсних САК охоплює лише ті системи керування, до складу яких входять часові та широтні ІЕ.

Якщо в лінійній імпульсній САК із сталими параметрами діють амплітудні ІМ-1, то вона носить назву системи із кінцевим часом отримання даних, а якщо діють сигнали амплітудні ІМ-2, - то системою із миттєвим отриманням даних.

Постановка завдань для кваліфікаційної роботи магістра:

- розглянути практичне використання імпульсних систем (ІС) і обґрунтувати необхідність розробки нетрадиційних методів аналізу та синтезу таких систем; - обґрунтувати теоретичні положення синтезу на основі частотного підходу до вирішення зворотних задач динаміки шляхом штучної періодизації задаючих і вихідних траєкторій; - виконати спектральний аналіз потенційно досяжних вихідних траєкторій; - розробити частотний алгоритм; - виконати синтез ІС різного функціонального призначення; - виконати моделювання на ЕОМ з метою перевірки адекватності припущень.

Проведено огляд та аналіз існуючих моделей частотного алгоритму синтезу для дискретних автоматичних систем керування.

За результатами якого було виконано постановку завдань для розроблення моделі частотного алгоритму синтезу для дискретних автоматичних систем керування.

Перелік джерел посилань

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування : Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Либідь, 2007. 656 с. ISBN 978-966-06-0447-6.
2. Штіфзон О.Й., Новіков П.В. Теорія автоматичного управління. Нелінійні та дискретні системи. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 98 с.
3. Боровська Т.М. Теорія автоматичного управління : курс лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2018. 256 с.
4. Сільвестров А.М. Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Системи автоматичного керування технологічними комплексами: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 466 с.
5. Жученко О.А., Бородин В.І. Теорія автоматичного управління. Дискретні системи керування: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 57 с.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБОВУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ПЕЧЕЙ

Мармій А.Ю.
Форкун І.В.
Соколан Ю.С.

Хмельницький національний університет

Мікрохвильові печі призначені для швидкого приготування та розігрівання їжі за допомогою електромагнітних хвиль високої частоти. Вони суттєво скорочують час приготування страв, що робить їх незамінними в побуті та на виробництві [1].

Перед випуском на ринок мікрохвильові печі проходять суворі випробування на безпеку та надійність. Одним із ключових тестів є перевірка рівня електромагнітного випромінювання, щоб воно не перевищувало допустимих норм [2]. Також проводяться електричні та механічні випробування, перевіряється якість дверного замка, цілісність металевої камери та системи блокування. Виробники тестують продуктивність печі, рівномірність нагрівання їжі та точність налаштування потужності. Крім того, здійснюється перевірка на стійкість до тривалого навантаження, перегрівання та короткого замикання.

З метою забезпечення можливості автоматизованого проведення такого випробування мікрохвильових печей була розроблена автоматизована система контролю та випробування (АСКВ), функціональна схема якої наведена на рис. 1.

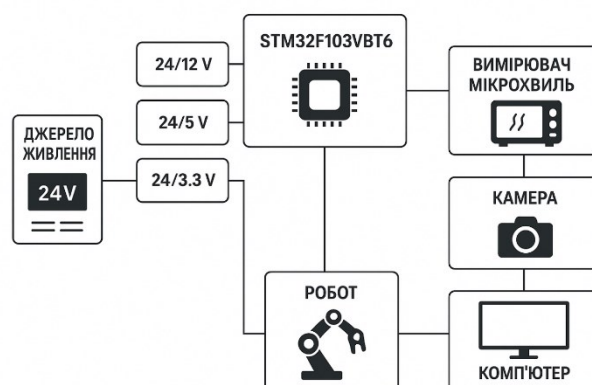


Рис. 1. Функціональна схема автоматизованої системи контролю та випробування мікрохвильових печей

Оскільки робот-маніпулятор в АСКВ призначений для натискання на кнопки на мікрохвильовій печі (МП), то для його коректної роботи необхідно передбачити модуль для зчитування координат панелі керування МП, оскільки в кожній моделі кнопки розташовуються в різних місцях. Для цього передбачено використання RFID технології, в якій на МП будуть ставитись мітки, а в АСКВ буде наявний зчитувач [3].

Камера в АСКВ призначена для проведення візуального огляду МП на наявність видимих пошкоджень та на справність роботи освітлення всередині камери для розігріву їжі. Вимірювач мікрохвиль призначений для вимірювання витоку мікрохвиль, яке не повинно перевищувати значення у 5 мВт/см^2 на відстані 50 см від МП.

В якості керуючого елемента для АСКВ обрано мікроконтролер STM32F103VBT6, а модуль живлення передбачає використання трьох перетворювачів напруги – з 24 на 12 В, з 24 на 5,5 В та з 24 на 3,3 В. Також була розроблена схема керування кнопками, яка наведена на рис. 2.

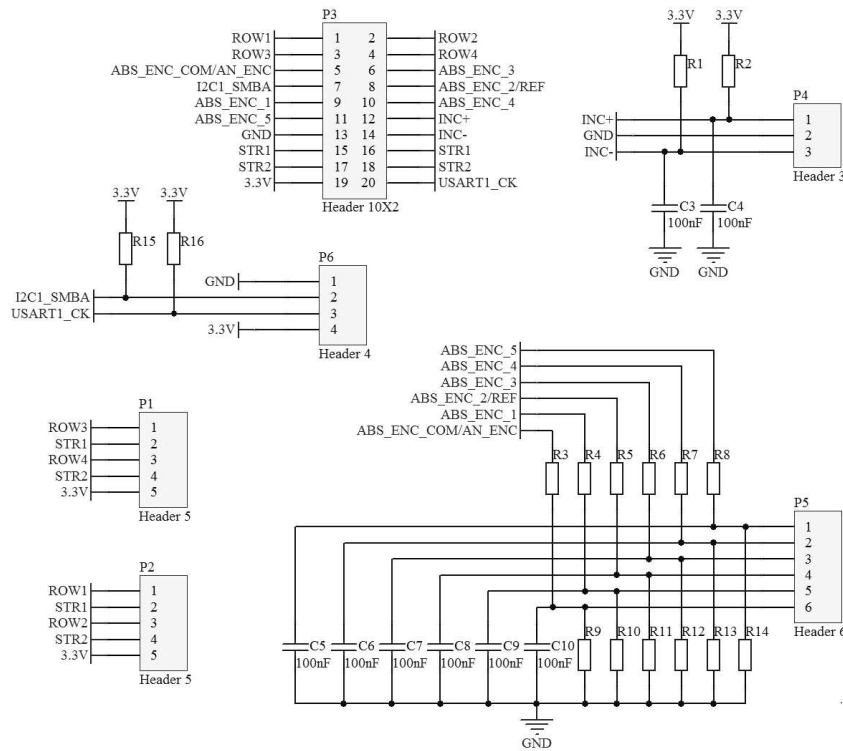
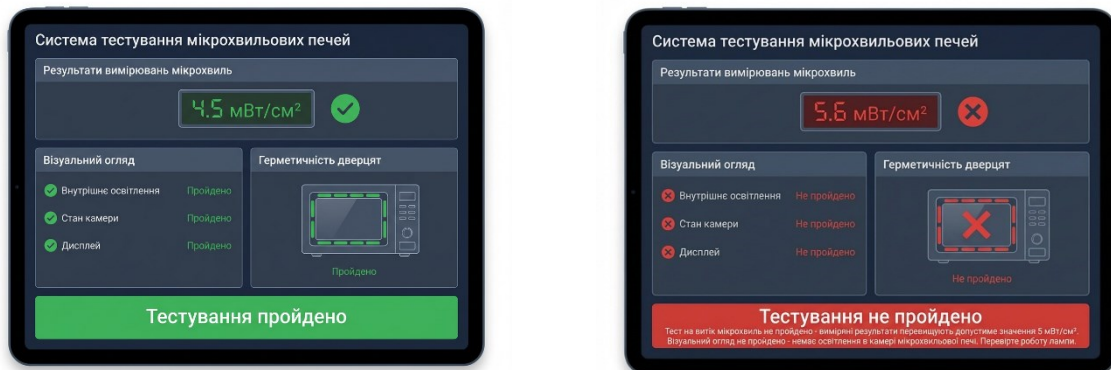


Рис. 2. Схема керування натисканням на кнопки мікрохвильової печі

З метою спрощення проведення автоматизованого контролю та випробовування мікрохвильових печей було розроблено відповідне програмне забезпечення, яке відображає інформацію стосовно виміряних мікрохвиль та проведення візуального огляду камерою в АСКВ. Інтерфейс програми наведено на рис. 3.



а)

б)

Рис. 3. Програма для автоматизованих випробовувань мікрохвильової печі:
а – успішне тестування; б – тестування не пройдено

Використання такої автоматизованої системи контролю та випробовування мікрохвильових печей дозволить спростити процес тестування МП на їх відповідність встановленим стандартам та нормам.

Перелік джерел посилань

1. Електропобутова техніка: підручник для студентів ВНЗ / Петько І.В. та ін. – Хмельницький: ХНУ, 2017. 213 с.
2. ДСТУ EN 60335-2-25:2015 Прилади побутові та аналогічні електричні. Безпека. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64689
3. RFID-технологія – що це, як працює, де використовується. URL: <https://www.imena.ua/blog/rfid-technology/>

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ “КОНСТРУКЦІЯ – ГРАНУЛЬОВАНЕ СЕРЕДОВИЩЕ”, ПОВЕДІНКА ЯКОЇ МОДЕЛЮЄТЬСЯ

Дорофєєв Ю.О.

Горященко С.Л.

Дорофєєв О.А.

Хмельницький національний університет

Технічною системою “конструкція – дискретне середовище” є сукупність взаємодіючих між собою елементів і вузлів конструкції або машини та контактуючого з ними середовища, котра забезпечує задані умови функціонування головного елемента системи – конструкції або машини. Повну систему можна розділити на підсистеми: конструкція (машина) та гранульоване середовище. Остання є найбільш складною для моделювання у зв'язку з недостатньою вивченістю законів деформування та руйнування даного типу матеріалів.

Якщо, наприклад, розглянути взаємодію гранульованих матеріалів зі стінками бункера, то виявиться, що це складний фізичний процес, який включає тертя, когезію, злипання та розподіл тиску, де гранули здійснюють силовий вплив не тільки самі на себе, але й на стінки, впливаючи на пропускну здатність бункера, викликаючи заклинення або обвалення маси, що вимагає правильного кута нахилу стінок, вибору матеріалу стінок (низький коефіцієнт тертя) та конструкції для ефективного самозвільнення матеріалу.

Основними аспектами взаємодії гранульованого матеріалу з елементами конструкції або механізму є: сила тертя (внутрішнє тертя); тиск на стінки; когезія та злипання; кут природного укусу; явища заклинення. Для нормальної роботи системи необхідно не тільки враховувати геометрію самого контактуючого елемента (бункера, стрічки конвеєра тощо), але й кут нахилу обмежуючих елементів конструкції (машини) – стінки повинні мати кут нахилу не менше $60-70^\circ$ для гранульованих матеріалів, і до $75-85^\circ$ для липких (відносно горизонталі).

При проектуванні стрічкового конвеєра необхідно враховувати крупність та абразивність матеріалу, який транспортується та кут природного укусу. Для збільшення об'єму гранульованого матеріалу, який транспортується, доцільно використовувати конвеєрні стави (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд конвеєрного ставу зі знятою стрічкою

Усі елементи повної системи взаємопов'язані. Без урахування цих взаємозв'язків неможливо визначити напружено-деформівний стан елементів й моделювати поведінку системи. А це, в свою чергу, не дозволить проектувати ефективні бункери, конвеєри й інші механізми та машини, які забезпечували б стабільний потік (без завалів і заклинювань) та мінімізували б втрати матеріалу.

Отже, можна зробити такі висновки щодо особливостей системи «конструкція – дискретне середовище» і вимог до можливості її нормального функціонування.

1. При моделюванні системи «конструкція – дискретне середовище» повинні враховуватись не тільки прямі зв'язки – дія елемента конструкції на середовище, але й зворотні – реакції середовища, що сприймають контактні елементи машини. Ці реакції не можуть бути знайдені тільки з умов рівноваги, а потребують для їх визначення розв'язання досить складних контактних задач на основі реологічних моделей, що відображають характерні особливості деформування гранульованого (дискретного) матеріалу.

2. Модель системи «конструкція – дискретне середовище» повинна при потребі (залежно від виду машини або конструкції) враховувати необхідність виконання двох очевидних умов:

- досягнення стану руйнування середовища в зоні контакту з елементами машин: розрихлювачами, шнеками, засувками, напрямними тощо;
- недопущення руйнування середовища та забезпечення його достатнього опору в місцях контакту з елементами, які слугують для зберігання або транспортування матеріалу (стілки резервуара, стрічка конвеєра тощо).

При побудові моделі взаємодії елементів машини з гранульованим середовищем необхідно об'єднати ці умови однією вимогою, щоб реологічна модель середовища описувала поведінку дискретного матеріалу як в дограничному, так і в граничному станах одними і тими ж фізичними співвідношеннями, що розглядають процес руйнування дискретного матеріалу як граничний стан його деформування.

Особливість описаної схеми полягає в тому, що середовище в ній розглядається не тільки як об'єкт, на який спрямована дія елементів конструкції або машини, але й як контактне тіло, що одночасно взаємодіє з цими елементами. Без такого поєднання неможливо змоделювати функціонування машини в технологічному процесі.

Отже, гранульоване середовище є визначальною ланкою системи. Воно об'єднує роботу і контактну опорну зони, генерує залежно від характерних закономірностей деформування матеріалу контактні зусилля, які замикають силовий ланцюг системи. Без знання цих зусиль неможливо моделювати поведінку машини в технологічному процесі.

Із сказаного випливає, що першочерговими завданнями досліджень при створенні математичної моделі системи є:

- вивчення особливостей деформування та руйнування гранульованих матеріалів;
- обґрунтування реологічної моделі середовища, яка врахувала б не тільки усі характерні особливості його деформування, але й описувала б умови руйнування дискретного матеріалу як граничний стан його деформування.

Перелік джерел посилань

1. Drucker D. C. Solid Mechanics and Plastic Analysis of Limit Design / D. C. Drucker, W. Prager // Quarterly of Applied Mathematics. – 1952. – Vol. 10. – № 2. – P. 157–165.
2. Дорофєєв О.А. Математичне моделювання взаємодії елементів машин та механізмів з дискретним середовищем / О. А. Дорофєєв, О. В. Багрій, Ю. О. Дорофєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2025. – № 2. – С. 144–149.
3. Дорофєєв Ю., Дорофєєв О., Вплив внутрішнього тертя на процеси деформування сипких та гранульованих матеріалів: матеріали II міжнародної наукової конференції студентів і молодих вчених «Проблеми та інновації у розвитку інженерії, технологій та транспорту», м. Хмельницький, ХНУ, 24-26 квітня 2025 р. Хмельницький, 2025. С. 855–865
4. Ковтун В. В. Основи механіки дискретних матеріалів : монографія / В. В. Ковтун, О. А. Дорофєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 131 с.

ОГЛЯД ПЕЛЕТНИХ ЕКСТРУДЕРІВ 3D-ДРУКУ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ

Дука О. В.
Поліщук О. С.

Хмельницький національний університет

Сучасні тенденції розвитку адитивних технологій показують, що саме екструзійний друк із гранул (FGF - Fused Granulate Fabrication) поступово стає перспективним напрямом для роботизованих систем малої та середньої потужності. Компактні pelletні екструдери, на відміну від класичних філаментних, мають простішу конструкцію подачі матеріалу, вищу продуктивність та можливість обробки вторинної сировини без попередньої переробки у нитку. Завдяки зменшеним габаритам та вазі ці екструдери можуть бути інтегровані не лише у 3D-принтери, але й у роботизовані маніпулятори, що розширює їхнє застосування у наукових, прототипувальних та малоформатних виробничих процесах. Огляд існуючих моделей малогабаритних екструдерів дозволяє виділити ключові параметри, що визначають їхню ефективність: продуктивність подачі, температурні режими, та масу, яка є критично важливою при монтажі на роботизовану руку. У роботі розглянуто кілька універсальних компактних екструдерів, що можуть бути встановлені як на класичні FDM/FGF 3D-принтери, так і на роботизовані маніпулятори [1].

Фірма MANOR розробляє різні типи універсальних екструдерів для гранул, які є компактними та легкими. Розглянемо два різновиди - універсальний екструдер для гранул моделі V4 та надлегкий V5 pilot.

MANOR V4 сумісний з соплами діаметром від 0,2 мм до 2 мм. У цій моделі використовується терморезистор типу NT-NTC 100 k, а для нагрівання нагрівального блоку, виготовленого з алюмінію, використовується нагрівач 12 В - 24 В. Змінне положення висоти забезпечує гнучкість у конфігурації нагрівального блоку для регулювання зони нагрівання та передачі тепла до пластику. На рисунку 1 показано загальний вигляд pelletного екструдера MANOR V4. В цій моделі рекомендується використовувати гранули розміром не більше 4,7 мм [2].



Рис.1 Загальний вигляд pelletного екструдера MANOR V4

Фірма MANOR також пропонує компактні рішення, серед яких виділяється екструдер V5-Pilot (рис.2), що є спрощеною та полегшеною версією професійної серії V5-M8-PRO-HS. Ця модель призначена для застосувань, де критичною є мала вага та мінімальні габарити, зокрема для монтажу на роботизовані маніпулятори малої вантажопідйомності або легкі 3D-принтери. Екструдер V5-Pilot побудований на основі шнекової системи діаметром 8 мм, виготовленої з загартованої сталі, що забезпечує високу зносостійкість та стабільне подавання гранульованого полімеру. Завдяки використанню керамічного нагрівального блоку СНС екструдер отримує більш рівномірний розподіл тепла на 360°, що забезпечує стабільне плавлення матеріалу та кращу якість екструзії при низькій масі конструкції. Робочі температури сягають до 300–320°C, що робить можливим використання не лише PLA, а й технічних матеріалів, включно з композиційними та вторинними полімерними сумішами. Модель підтримує стандартні сопла типу МК8 та

сумісна з діаметрами від 0,4 мм до 1,2 мм, що оптимально для мініатюрних систем FGF. Через малу масу (орієнтовно 250–450 г залежно від конфігурації) V5-Pilot можна встановлювати на невеликі роботизовані маніпулятори. Для охолодження використовується компактний вентилятор 12–24 В, який регулюється залежно від необхідної температури нагрівання [3].

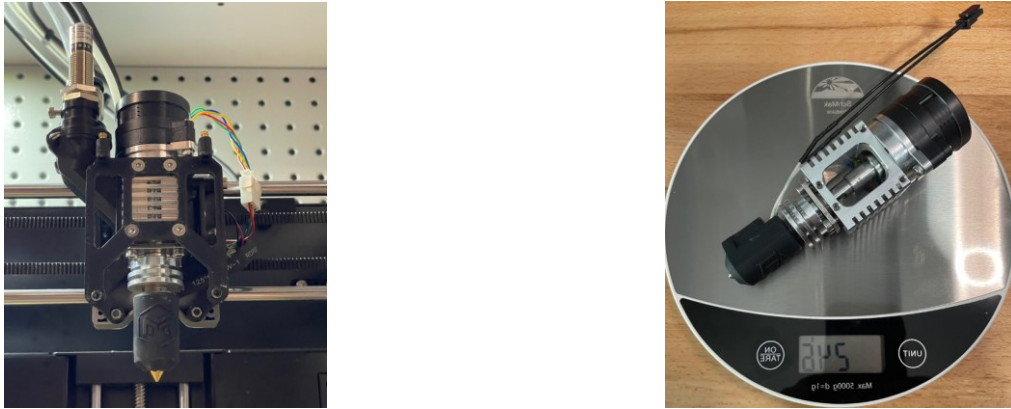


Рис.2. Загальний вигляд пелетного екструдера MAHOR V5 Pilot

Також є пелетний екструдер (рис.3) від іншого виробника Direct3D призначений для роботи з полімерними гранулами та характеризується компактністю і невеликою масою, що робить його придатним для інтеграції у невеликі та середні 3D-принтери, включно з роботизованими системами. Конструкція включає металевий корпус, шнековий механізм подачі та змінні сопла різного діаметра, що дозволяє адаптувати екструзію під задачі з різною швидкістю та товщиною шару. Екструдер має малу масу - близько 1.2 кг, що значно полегшує його монтаж на маніпулятори з обмеженим вантажопідйомом. Продуктивність подачі становить приблизно 20–350 г/год, що підходить для виготовлення дрібних та середньорозмірних виробів, а також для робіт у легкій промисловості, де потребується висока гнучкість та стабільність друку. Конструкція дозволяє встановлювати сопла діаметром 0.4–2.5 мм, забезпечуючи як детальний друк, так і швидке виготовлення товстошарових виробів [4].



Рис. 6 Direct3D

З огляду на порівняння основних характеристик розглянутих пелетних екструдерів, кожен із них має свої переваги відповідно до сфери застосування. Проте саме MAHOR V5 Pilot є найоптимальнішим варіантом для роботи з малогабаритними роботизованими маніпуляторами. Його головною перевагою є надзвичайно мала вага — лише 250 г, що мінімізує навантаження на робота та забезпечує стабільну роботу під час друку.

Попри компактність, MAHOR V5 Pilot підтримує температуру до 300°C, сумісний з різними типами полімерних гранул, включно з переробленими, і зберігає достатню якість екструзії за умови правильно підбраного розміру гранул та налаштування подачі. Завдяки

легкій інтеграції та універсальному кріпленню він підходить для дослідницьких, навчальних і прототипувальних систем [5].

Перелік джерел посилань

1. Ankit Dixit, Vikash Kumar. Miniature pellet extruder concept for robotic 3D printing application / IAES International Journal of Robotics and Automation. – 2022.
2. MAHOR V4 [Electronic resource] – access mode: <https://3dprint.me/product/v4-pellet-extruder>
3. MAHOR V5 Pilot [Electronic resource] – access mode: <https://mahor.xyz/producto/pellet-extruder-v5-m8-pro-hs/>
4. Direct 3D [Electronic resource] – access mode: <https://www.direct3d.it/extruders/>
5. Yousuf Pasha Shaik, Jens Schuster, Aarif Shaik. A Scientific Review on Various Pellet Extruders Used in 3D Printing FDM Processes / Open Access Library Journal. – 2021.

ПРОБЛЕМАТИКА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ШЕСТИ-ОСЬОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА**Кирилюк О.С.****Майдан П.С.***Хмельницький національний університет*

Робототехніка на сучасному етапі технічного прогресу є однією галузей техніки і технологій, що швидко розвивається. Вона знаходить застосування в різних сферах, таких як автоматизація виробництва, промисловість та медицина. В останні роки все більше і більше компаній впроваджують роботи-маніпулятори у свої виробничі процеси для автоматизації монотонних і трудомістких завдань замість використання людей.

Одним з найпоширеніших типів роботів-маніпуляторів є шести-осьовий промисловий робот-маніпулятор (ПРМ). Він складається з шести ланок і, відповідно, шести електроприводів, які дозволяють виконувати складні маніпуляційні завдання з достатньо високою точністю і рівнем швидкості.

Для керування будь-яким роботом-маніпулятором необхідна математична модель, яка дозволить визначити траєкторії руху і керувати електроприводами ПРМ. Опишемо проблематику розробки математичної моделі ПРМ в програмному середовищі MATLAB [1-3].

Загально відомо, про експериментальні дослідження моделі аналізу руху і планування траєкторії робота-палетизатора GLT, в роботі використовувався метод Денавіта-Хартенберга [4, 5]. Для побудови кінематичної моделі вантажно-розвантажувального робота GLT використовувалася робототехнічна програмне середовище MATLAB. На основі вбудованих методів програмного середовища MATLAB і Монте-Карло було змодельовано та проаналізовано робочий простір для визначення масштабу робочого простору ПРМ. За допомогою методу інтерполяції квінтової та сікстової поліноміальних кривих була спланована траєкторія руху частин дерев'яної конструкції в процесі вантажно-розвантажувальних робіт за допомогою ПРМ, відповідно, за двох умов - з перебуванням і без перебування [6].

Вже описаний раніше MATLAB Robotics Toolbox [1-3] - це набір інструментів для робототехніки на основі програмного середовища MATLAB, розроблений і підтримуваний австралійським вченим Peter Corke [7]. Даний набір інструментів містить багато вбудованих важливих функцій, таких як кінематика, динаміка і планування траєкторії в дослідженнях робототехніки, можливе виконання графічного моделювання ПРМ і наступний аналіз результатів тестових даних реального керування ПРМ. Спеціальна функція Link в програмному середовищі MATLAB використовувалася для побудови шатуна ПРМ, а шість шатунів були з'єднані спеціальною функцією SerialLink для побудови імітаційної моделі ПРМ.

Відповідно до угоди про встановлення еталонної системи координат Гаусса-Крюгера [7] була встановлена система координат ланки ПРМ, визначені параметри чотири ДН-параметри для кожної ланки за методом Денавіта-Хартенберга [4, 5] і розроблена математична модель. Була виведена і вирішена передня кінематика робота. Кінематична модель вантажно-розвантажувального робота GLT була побудована з використанням програмного середовища MATLAB, а результати моделювання були перевірені з використанням технології моделювання, що підтверджує правильність аналізу руху [1-3].

Традиційний підхід до вирішення кінематики має важливе значення в різних областях технологій, поширюючись через комп'ютерну графіку (аналіз анімаційних персонажів) до розширення просторових маніпуляцій і, навіть, симуляторів. Всі області застосування фундаментально вимагають оцінки як орієнтації, так і положення декартових координат кінцевого робочого інструменту і перемінних шарнірів-суглобів ПРМ. Зрозуміло, що для оцінювання положення і орієнтації кінцевого робочого інструменту та спільних можна застосувати відомий метод однорідної матриці перетворення, який є традиційним інструментом для опису кінематичних зв'язків між шарнірами-суглобами та ланками.

Більш того, даний метод однорідної матриці перетворення використовується вже багато десятиліть для визначення положення кінцевого робочого інструменту ПРМ. Проте, він є надлишковим для представлення шести-осьової системи, тобто, споживає більше обчислювальних витрат і більше місця в пам'яті ЕОМ. Що, крім того, пов'язано з проблемою математичних операцій, які зазвичай створюють надлишкову складність. Тому в даний час існує безліч альтернативних методів для представлення як неінерційних так і інерційних координат. Тому метод вирішення завдання завжди повинен бути менш складним і ефективним з точки зору обчислення.

Для планування траєкторії руху ПРМ і визначення положення в просторі необхідно вирішити два основних класи задач або інакше пряму і зворотну задачі кінематики.

Пряма задача кінематики ПРМ полягає у визначенні кінцевої позиції та орієнтації робочого інструменту ПРМ на основі заданих кутів повороту кожної ланки і відповідно шарніру-суглобу ПРМ. Іншими словами, пряма задача кінематики дозволяє визначити координати кінця ПРМ, коли відомі кути повороту ланок.

Кінематика ПРМ складається з серії пов'язаних між собою перетворень координат. Кожна ланка ПРМ має власну систему координат, яка тісно пов'язана з системою координат попередньої ланки. Тому кінцева система координат знаходиться на робочому інструменті ПРМ.

Пряма задача кінематики ПРМ може бути вирішена шляхом використання матричних перетворень координат, що пов'язують системи координат кожного ланки з системою координат опорної рами ПРМ. В результаті, можна визначити кінцеву позицію і орієнтацію робочого інструменту, використовуючи значення кутів повороту для кожної окремої ланки ПРМ.

Пряма задача кінематики є основою для керування ПРМ в процесі виконання завдань. Вона дозволяє визначити положення і орієнтацію робочого інструменту, які необхідні для виконання певної операції.

Розв'язання зворотної задачі кінематики призначене для обчислення необхідної просторової конфігурації ПРМ за положенням робочого органу і є основною проблемою при плануванні траєкторії переміщення ПРМ [9].

Наведено характеристику кінематичної моделі шести-осьових ПРМ. Представлено розв'язання прямої та зворотної задачі кінематики шести-осьового ПРМ з використанням програмного забезпечення.

Перелік джерел посилань

1. Лазарев Ю.Ф. Моделювання динамічних систем у MATLAB: електронний навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 421 с.
2. Коржик М.В. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MATLAB [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 174 с.
3. Гурко О.Г., Єрьоменко І.Ф. Аналіз та синтез систем автоматичного управління у MATLAB: Навчальний посібник. Харків, ХНАДУ, 2012. 303 с.
4. M. Vihuro, A. Malyar. Synthesis of control algorithm for position of six-axis manipulator. Energy Engineering and Control Systems, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 118 – 126. <https://doi.org/10.23939/jeecs2022.02.118>
5. Вігуро М.І., Маляр А.В. Розв'язання прямої задачі кінематики зварювального маніпулятора з шістьма ступенями свободи. Електроенергетичні та електромеханічні системи, 2021, Вип. 3, №2. 27-34с.
6. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси: монографія. Житомир : ПП «Рута», 2023. 524 с.
7. Peter Corke, Remo Pillat, Witold Jachimczyk Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. Springer, 2023. 819 p.
8. Проекція Гаусса — Крюгера. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%94%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%93%D0%B0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%B0_%E2%80%94_%D0%9A%D1%80%D1%8E%D0%B3%D0%B5%D1%80%D0%B0 (дата звернення: 19.10.2025).
9. Niku, S. B. (2010). Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications. John Wiley & Sons.

**МЕТОДИ ОТИМАННЯ ЗАГОТОВКИ КАРТЕРА ДВОТАКТНОГО
ДВИГУНА 70СС З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ****Святушенко М.
Костюк С.А.***Хмельницький національний університет*

У двотактних двигунах внутрішнього згорання ДВЗ картер додатково виконує функцію активного елемента газорозподільної системи. Виконує роботу всмоктування паливоповітряної суміші через впускний тракт, стиснення її при русі поршня вниз і переміщення до камери згорання через продувні канали. Двотактні ДВЗ можуть видавати значну потужність при високих частотах обертання колінчастого валу 7000 об/хв, при відносно невеликій масі. Зважаючи на умови роботи таких ДВЗ висуваються особливі вимоги до якості деталей двигуна (марка матеріалу, метод отримання заготовки, стійкість до циклічних навантажень, вібрації, теплового розширення). Пористість матеріалу, анізотропність заготовки призводять до відмови двигуна. Тому вибір способу й технології отримання заготовки визначають надійність та експлуатаційний ресурс ДВЗ.

Картер двотактних двигунів як правило виготовляють з алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави мають хороші ливарні властивості, піддаються механічному обробленню різанням, сприймають вібрації, відводять тепло та забезпечують відносно низьку масу виробу при достатній міцності.

Процеси лиття алюмінієвих сплавів й технологічні параметри досліджували багато вчених, одні з яких L. Patnaik та ін., NIT Silchar (Індія, 2019) [1]. Встановлено, що на якість відливки впливають такі фактори: швидкість заливання (при занадто низькій швидкості виникає недолив у зв'язку з застиганням металу до того, як форма заповниться. При високій швидкості заливу виникає турбулентність, яка створює газову пористість); технологічні розміри каналів ливникової системи; параметри процесу кристалізації та охолодження заготовки, що впливають на мікроструктуру та міцність матеріалу [1].

Процес лиття під високим тиском полягає в наступному: розплавлений алюміній під високим тиском подається у прес-форму. Цей метод забезпечує високу точність і продуктивність при великосерійному й масовому виробництві. Отримані в такий спосіб заготовки за формою максимально наближені до форми деталі й потребують мінімум механічного оброблення. Велика вартість технологічного обладнання для лиття під тиском обумовлюють метод економічно доцільним лише при масовому й потоковому виробництві.

Для методу лиття у кокіл застосовують металеву форму, в яку розплавлений метал заливається під дією сили тяжіння. Цей спосіб забезпечує щільну структуру металу і гарні механічні властивості. Метод широко застосовується в умовах серійного виробництва.

Для одиничного і малосерійного виробництва широкого застосування набув метод лиття у піщанно-глинесті форми. Головними недоліками методу є низька точність та повторюваність вилівка, низький коефіцієнт використання матеріалу та підвищенні витрати на механічне оброблення.

Порівняння основних методів отримання заготовки картера ДВЗ наведено в таблиці 1.

В результаті проведеної роботи запропоновано низку конструкторсько-технологічних рішень щодо поліпшення процесу виготовлення заготовки картера ДВЗ моделі 70сс литтям в кокіл з алюмінієвих сплавів з підвищеним вмістом кремнію.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів отримання заготовки картера двигуна внутрішнього згоряння

Критерій порівняння	Лиття під високим тиском (HPDC)	Лиття в кокіль (Gravity Die Casting)	Лиття в піщані форми (Sand Casting)	Механічна обробка з прокату (CNC Billet)
Тип виробництва	Масове, великосерійне	Серійне	Одиничне, дрібносерійне, дослідне	Одиничне (спорт/кастом)
Продуктивність	Дуже висока (цикл менше 60 с)	Середня (цикл 5–10 хв)	Низька	Низька (залежить від складності)
Вартість оснастки	Дуже висока (складна прес-форма)	Середня	Низька	Відсутня (тільки ріжучий інструмент)
Собівартість 1 шт.	Мінімальна (при великій серії)	Середня	Висока	Дуже висока
Якість поверхні (Rz)	Відмінна (20–40 мкм)	Добра (40–80 мкм)	Груба (160–320 мкм)	Ідеальна (залежить від режиму)
Структура металу	Задовільна (ризик газової пористості)	Висока (щільна, дрібнозерниста)	Задовільна	Найвища (кована/катана структура)
Термообробка	Обмежена (через пористість)	Можлива (Т6: гартування + старіння)	Можлива	Можлива (початковий стан матеріалу)
КВМ (коэф. вик. матеріалу)	Високий (0.90–0.95)	Середній (0.60–0.75)	Середній	Дуже низький (менше 0.30)
Застосування (70cc)	Серійні скутери (Yamaha, Honda)	Тюнінг класу High-End (Polini)	Прототипи, ремонт ретро	Професійний гоночний спорт

Удосконалена технологія дозволяє отримувати виливки дрібнозернистої структури з високою однорідністю матеріалу за об'ємом, задовільну якість поверхні та можливість проведення термічного оброблення, що важливо для забезпечення міцності картера ДВЗ. Застосування повноцінної термообробки типу Т6 дозволяє підвищити міцність матеріалу картера на 20 – 30%, що дуже важливо для портативних двотактних двигунів.

Результати економічного обґрунтування запропонованої технології підтверджують доцільність використання в умовах малосерійного виробництва.

Перелік джерел посилань

1. Patnaik L., Saravanan I., Kumar S. Die casting parameters and simulations for crankcase of automobile using MAGMAsoft. Materials Today: Proceedings. 2020. Vol. 22. P. 563–571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.208>

**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЦИЛІНДР ДВС З КОМБІНОВАНОЮ
СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ»****Липка О.
Костюк С.А.***Хмельницький національний університет*

Сучасний розвиток двигунобудування характеризується постійним зростанням вимог до надійності, питомої потужності, економічності та екологічності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Надійність та ефективність роботи ДВЗ в більшості випадків визначається працездатністю циліндро-поршневої групи, яка піддається екстремальним тепловим та механічним навантаженням у процесі експлуатації [1].

Актуальність теми досліджень зумовлена тим, що традиційні системи охолодження (виключно рідинні або повітряні) часто мають обмеження щодо ефективності відведення тепла, особливо у форсованих двигунах. Це може призводити до локальних перегрівів, деформацій та зниження ресурсу циліндро-поршневої групи [2]. Для зниження впливу зазначених факторів, пропонується застосування комбінованої системи охолодження, яка поєднує переваги обох методів, забезпечуючи рівномірний розподіл температурного поля та підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) двигуна.

Проте реалізація такої конструкції висуває підвищені вимоги до технології виготовлення. Однією із важливих задач є формування внутрішніх каналів охолодження із забезпеченням геометричної точності та герметичності. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу виготовлення такої деталі вимагає комплексного підходу та передбачає аналіз існуючих прототипів, 3D-моделювання, розроблення технології отримання заготовки та оптимальних маршрутів механічного оброблення.

У ході дослідження визначено, що для досягнення високої точності обробки каналів охолодження необхідно використовувати сучасне обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК). Розроблення технологічного процесу передбачає створення 3D-моделі деталі з урахуванням оптимальної топології каналів, що дозволить поліпшити процес теплообміну при проходженні охолоджувального агента та покращити аеродинамічні властивості ребер охолодження. Важливим етапом роботи є моделювання процесів теплообміну ДВЗ, що дозволяє оцінити ефективність запропонованої комбінованої системи ще на етапі проектування. Це дає змогу внести необхідні корективи в конструкцію до початку виробництва дослідного зразка, що суттєво знижує витрати на відпрацювання технології.

Впровадження розробленого конструкторсько-технологічного забезпечення сприятиме підвищенню теплової ефективності ДВС, зниженню зносу деталей та забезпеченню стабільності роботи двигуна при змінних навантаженнях. Техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність впровадження такого підходу у виробництво, відкриваючи нові перспективи для виготовлення складних корпусних деталей з інтегрованими системами терморегуляції.

Перелік посилань

1. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2004. – 438 с.
2. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: серія підручників у 6 томах / А. П. Марченко, А. Ф. Шеховцов та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2004.

ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ РОБОЧОЇ РЕЧОВИНИ В ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

Ступка В.Б.
Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Загальні тенденції розвитку холодильної техніки, холодильних виробництв і технологій на сьогоднішній день представляють велику область знань і умінь, яка користується все більшою популярністю серед виробників. Нові холодильні технології представляють собою величезний пласт нововведень, які необхідно впроваджувати у широке виробництво з метою розвитку та підвищення ефективності роботи будь-яких технічних пристроїв або їх сполучних елементів.

Впровадження нових холодильних технологій у промисловій галузі - це не лише необхідність поліпшити ефективність роботи виробництв, але й необхідність викликана часом. Без сучасних газокомпресорних перекачувальних станцій неможливо уявити собі функціонування галузі, те ж саме можна сказати і про переробку газу з метою отримання рідких вуглеводнів, де без застосування сучасних технологій зрідження і розділення газових сумішей обійтися просто не представляється можливим.

З метою отримання низьких рівнів температури (до мінус дев'яносто градусів за Цельсієм) найчастіше використовують парокompresійні агрегати - одноступінчасті та багатоступінчасті (застосування однієї робочої речовини) і каскадні (де дві і більше речовини).

Одним із способів зниження необхідного описаного обсягу низькотемпературного компресора є використання холодоагентів, у яких вищі рівні тисків насиченої пари. До холодоагентів високого рівня тиску відносять наступні – R13r14, R503, етан та інші. Проте при рівнях температури конденсації, що отримуються при охолодженні водою, робочі рівні тисків у даних холодоагентів занадто високі, деякі взагалі при тих рівнях температури сконденсувати нереально через малі критичні рівні температури. Тому використовують спеціальні каскадні установки, що використовують дві (або більше) робочі речовини.

Звичайна каскадна установка складається з двох одноступінчастих агрегатів, що позначаються верхньою і нижньою гілкою каскаду (або інакше верхнім і нижнім каскадом). Нижній каскад забирає тепло у охолоджуваної речовини і працює на холодоагенті високого рівня тиску, а верхній, що працює на холодоагенті, використовуваному для середніх рівнів температури, працює на конденсатор нижньої гілки.

Випарник верхньої і конденсатор нижньої гілок зазвичай об'єднують в один агрегат - конденсатор-випарник (КдВ).

Фішка каскадних машин - здатність до значного збільшення рівнів тиску в холодильній системі нижньої гілки, коли машина не використовується, і рівні температури всіх механізмів вирівнюється з навколишнім середовищем.

Для уникнення надмірного підвищення рівня тиску в холодильній системі нижньої гілки використовують наступні способи:

- розміщення додаткового баку великої міцності, в який під час зупинки машини зливають весь рідкий холодоагент високого рівня тиску. Однак це вимагає вкрай надійної запірної арматури, що відсікає цей бак, і вимагає суттєве ускладнення схеми, яка повинна забезпечувати повний злив рідини з усіх інших ділянок холодильної системи;

- контроль в конденсаторі нижнього ступеня низького рівня тиску за допомогою безперервної циклічної роботи верхнього ступеня каскаду. Даний спосіб вимагає високої надійності верхнього каскаду і пов'язаний з великою витратою електроенергії, коли немає необхідності в холоді;

- розташування в системі спеціального баку, що позначається розширювальною ємністю, підбраного таким чином, щоб під час зупинки машини весь холодоагент високого рівня тиску перетворився на пару, рівень тиск при цьому не перевищив би максимального рівня тиску всіх інших механізмів. Величина розширювального баку окупається 100% гарантією захисту від перевищення рівня тиску. Розширювальні баки великих розмірів зазвичай розташовують зовні приміщення.

Якби в кожній гілці каскаду знаходився один і той самий холодоагент, а різниця рівнів температури в КдВ була дорівнювала нулю, то такий каскадний агрегат був би термодинамічно рівний двоступеневому. У разі використання різних холодоагентів холодильні коефіцієнти теоретичних циклів каскадної і багатоступеневої установки схожі один на одного (якщо $t_k = t_0$). У разі наявності кінцевої різниці рівнів температури в КдВ (яка часто знаходиться в межах 5-10°C) теоретичний холодильний коефіцієнт каскадної установки завжди слабкіший, ніж у двоступеневої. У робочому ж циклі каскадна машина зазвичай ефективніша і за дво- і за триступеневу холодильну установку (ХолУст). Це базується на таких перевагах роботи з холодоагентами високого рівня тиску: - високі значення абсолютних рівнів тисків всмоктування; - через нижчі питомі обсяги всмоктуваної пари необхідний теоретичний обсяг компресора буде невеликим; - відношення рівнів тисків для даних діапазонів рівнів температур у холодоагентів високого рівня тиску значно менше.

У зв'язку з великими абсолютними значеннями рівнів тиску і невеликими відношеннями об'ємні та енергетичні коефіцієнти компресора будуть зростати. Це стимулює подальше зменшення відомого обсягу компресора, зменшення енергетичних витрат і збільшення загальної економічності агрегату.

У зв'язку з великими абсолютними значеннями рівнів тиску і невеликими відношеннями об'ємні та енергетичні коефіцієнти компресора будуть зростати. Це стимулює подальше зменшення відомого обсягу компресора, зменшення енергетичних витрат і збільшення загальної економічності агрегату.

При виборі, яку робочу речовину використовувати при створенні систем охолодження, необхідно брати до уваги наступні важливі характеристики використання системи охолодження, як безпека використання, величина експлуатаційних витрат і екологічна безпека; важливу роль в результаті стрімкого підняття цін на енергію також відіграє низька енергоємність. Ідеальна робоча речовина для систем охолодження також повинна мати хімічну стабільність і високі термодинамічні характеристики. Подібним запитам повністю відповідали хлор- і бромвмісні холодоагенти, але використання завдавало страшної шкоди навколишньому середовищу, тому прийнято законодавче обмеження. В даний час в системах охолодження для великих змін рівнів температури рекомендується застосовувати альтернативні (природні) робочі речовини, наприклад: аміак, воду, вуглеводні (пропан і бутан), а ще діоксид вуглецю.

Якщо розглядати ефективність використання, адекватної альтернативи забороненим холодоагентам, які повністю відповідали жорстким вимогам холодильної промисловості, так і не виявлено. Аміак, який зараз широко використовується у великих промислових холодильних системах, є токсичним і добре горючим; набагато більш пожежонебезпечні вуглеводні допускається використовувати тільки в невеликих ХолУст, а вода може використовуватися в дуже обмеженій області використання.

Оскільки необхідний рівень температури охолодження досить низький, існує проблема великого ступеня стиснення в компресорі при теоретичному використанні саме одноступінчастої установки.

Для зменшення навантаження на компресор і кількості необхідного холодоагенту розумно буде використовувати двоступеневу або, навіть, каскадну установку.

Проектування двоступеневої ХолУст з вуглекислою в якості холодоагенту пов'язане зі певними труднощами, пов'язаними з вкрай високим рівнем тиску і температур конденсації ступеня високого рівня тиску.

Використання саме каскадної машини дозволяє уникнути використання транскритичного циклу установки і істотно знизити витрати на експлуатацію.

Перелік джерел посилань

1. Ялпачик В.Ф., Стручаєв М.І., Ялпачик Ф.Ю., Практикум з курсу «Холодильне устаткування»: Навчальний посібник. Мелітополь, 2014. 111 с.
2. Холодильні установки : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський, В. П. Онищенко ; за ред. І. Г. Чумака. – 6-е вид. перероб. і допов. - Одеса : Пальміра, 2006. - 552 с.
3. Мнацаканов Г.К. Холодильна техніка і технологія: Навчальний посібник (конспект лекцій). - Одеса: ОДАХ, 2008. - 128 с.
4. Мелейчук С.С., Арсеньєв В.М. Монтаж, експлуатація, обслуговування холодильних і теплонасосних установок: навчальний посібник. - Суми: СДУ, 2011. - 183 с.
5. Вітенько Т.М. Курс лекцій з холодильної техніки. - Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. - 152 с.
6. Семенюк Д. П., Петренко О. В. Холодильне обладнання: підручник. Харків: ХДУХТ, 2017. 600 с.
7. Степанов Д.В., Степанова Н.Д. Холодильна техніка та технологія. Вінниця, ВНТУ, 2008. 96 с.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ З ДВИГУНОМ СТРІЛІНГА В УМОВАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

**Нікітін Є.С.
Павленко В.М.**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Сучасна парадигма розвитку об'єднаної енергосистеми України вимагає переходу до розподіленої генерації. Критичним завданням є забезпечення автономності об'єктів соціальної інфраструктури та домогосподарств в умовах дефіциту потужностей. Серед наявних технологій перетворення теплової енергії в електричну особливої уваги заслуговують установки із зовнішнім підводом тепла (двигуни Стірлінга), які дозволяють утилізувати низькопотенційні види палива з високим ККД.

Виклад основного матеріалу. Аналіз світової практики експлуатації мікрогенераційних систем (micro-CHP) у країнах ЄС та Азії демонструє стійку тенденцію до зростання частки установок із циклом Стірлінга. Зокрема, у Японії (програма ENE-FARM) станом на 2021 рік інтегровано понад 433 тис. таких систем.

З інженерної точки зору, ключовою перевагою розглянутих установок є інваріантність до типу теплового джерела. Робочий процес забезпечує ефективне перетворення енергії від спалювання біомаси [1], твердих побутових відходів (ТПВ) або концентрованого сонячного випромінювання. Термодинамічний аналіз показує, що загальний ККД системи (електрична + тепла енергія) досягає 85–90% при роботі на природному газі та 75–85% при використанні біомаси, що перевищує показники традиційних дизель-генераторних установок (50–60%). Електричний ККД становить 15–25% залежно від модифікації.

Важливим експлуатаційним показником є ресурс роботи, який для двигунів Стірлінга становить 40 000–60 000 мото-годин завдяки відсутності вибухового згоряння палива в циліндрах та меншому зносу рухомих частин. Річні витрати на технічне обслуговування (ТО) оцінюються в межах €100–200, що підтверджує низьку операційну вартість.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика техніко-економічних та екологічних показників енергетичних установок [3]

Показник	Дизель-генератор (традиційний аналог)	Двигун Стірлінга (Природний газ)	Двигун Стірлінга (Біомаса/Відходи)
Електричний ККД, %	30 – 35	20 – 25	15 – 20
Загальний ККД (режим когенерації), %	50 – 60	80 – 90	75 – 85
Питомі викиди CO ₂ , кг/МВт·год	> 300	200	< 100
Експлуатаційний ресурс, тис. годин	20 – 30*	40 – 60	40 – 60
Річні витрати на ТО, € (для 1 кВт)	Високі (розхідники)	100 – 200	100 – 200
Термін окупності, років	–	6 – 9	6 – 9

Для умов України розраховано потенціал використання локальної сировинної бази. Встановлено, що когенераційна установка потужністю 1 кВт ел. здатна утилізувати до 2

тонн ТПВ на рік, забезпечуючи базове навантаження домогосподарства [2]. Економічне моделювання для побутового сектору при капітальних інвестиціях (CAPEX) на рівні €10 000–13 000 показує термін окупності проекту 6–9 років при річній економії енергоносіїв €500–900.

Основним стримуючим фактором масштабування технології є відсутність серійного вітчизняного виробництва та висока вартість імпортованих аналогів. Зниження питомих капіталовкладень можливе шляхом локалізації збирання установок та впровадження механізмів державного стимулювання (субсидії, «зелений» тариф).

Впровадження комбінованих енергосистем на базі двигуна Стірлінга [4] є технічно обґрунтованим рішенням для децентралізації енергопостачання. Висока термодинамічна ефективність у режимі когенерації, можливість роботи на відновлюваних ресурсах (агровідходи, біомаса) та значний моторесурс дозволяють рекомендувати дані установки для забезпечення енергетичної безпеки комунальних та приватних об'єктів.

Перелік джерел посилань

1. Choque Campero L. A., Wang W., Cardozo E., Martin A. Decentralized biomass-based Brayton-Stirling power cycle with an air gap membrane distiller for supplying electricity, heat and clean water in rural areas. *Applied Thermal Engineering*. 2024. Vol. 254. Art. 123889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.123889>.
2. Kubule A., Kramens J., Bimbere M., Pedišius N., Blumberga D. Trends for Stirling engines in households: A systematic literature review. *Energies*. 2024. Vol. 17, No. 2. Art. 383. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17020383>.
3. Nikitin Y. Combined energy production systems with Stirling engines: Analysis of global experience and local prospects. *Technologies and Engineering*. 2025. Vol. 26, No. 3. P. 66–76. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2025.3.5>.
4. Nikitin Ye., Pavlenko V., Volianyk O. Technological integration of Stirling engines in fuel boilers as the basis for high performing micro-CHP with low emissions. *Технічна творчість*. 2024. No. 8. P. 99. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/1cd6e612-7273-479f-a293-22f8399ec4be/content>.

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Тимошук О. Г.

Шевчук І.О.

Хмельницький національний університет

На сьогодні питання енергетичної безпеки, економічної ефективності та екологічної відповідальності набули стратегічного значення. З огляду на зростання вартості традиційних енергоресурсів та глобальні екологічні виклики, людство дедалі активніше звертається до використання відновлюваних джерел енергії. Серед них важливу роль відіграє вітрова енергетика — як один із найбільш доступних, зрілих і перспективних напрямів відновлюваної енергетики.

Розвинуті країни активно інвестують у великі вітропарки, однак зростає і інтерес до децентралізованих технічних рішень — автономних вітроустановок для приватного сектору, фермерських господарств, невеликих підприємств. У цьому контексті актуальним є створення компактних дахових вітроустановок, здатних забезпечити користувача електроенергією у межах базового споживання або у поєднанні з акумуляторними системами.

Вітроенергетична установка (ВЕУ) — це комплекс обладнання та споруд, що спільно забезпечують перетворення енергії вітру в інші види енергії. До складу ВЕУ входять вітрогенератор і вітродвигун. Основною частиною є саме вітрогенератор, який включає вітродвигун, систему передавання вітрової енергії до навантаження (споживача) та сам споживач, до якого можуть належати електрогенератор, водяний насос, нагрівальний елемент тощо. Вітродвигун виконує функцію перетворення кінетичної енергії повітряного потоку в механічну енергію обертального руху. Рух, який створює вітродвигун, може бути різного типу. Переважна більшість сучасних вітродвигунів працює на основі обертального руху, однак також існують ідеї щодо використання коливального або іншого характеру руху.

Загальний принцип дії вітроустановки полягає в тому, що під впливом вітру обертається лопатеве вітроколесо, яке передає крутний момент через передавальний механізм на вал генератора, що, у свою чергу, виробляє електроенергію. Розрізняють два основні типи конструкцій ВЕУ: з вертикальною та горизонтальною віссю обертання.

Для розрахунку енергії, яку здатна виробити вітроенергетична установка, необхідно отримати дані про розподіл швидкості вітру та енергетичну характеристику установки. Існують два основні підходи для визначення величин потужності вітроенергетичної установки:

а) застосування стандартних функцій розподілу швидкості вітру, зокрема двопараметричної функції Вейбулла або її спрощеного варіанту — однопараметричної функції Релея. Цей метод ґрунтується на математичному моделюванні й дозволяє оцінити прогнозовану вироблену енергію залежно від параметрів функції розподілу та потужнісної характеристики ВЕУ;

б) використання даних реальних вимірювань швидкості вітру з подальшим побудуванням функції розподілу за окремими інтервалами. У цьому разі швидкість вітру в кожному з діапазонів приймається сталою, що спрощує процес розрахунку. Такий підхід спирається на фактичні дані, отримані в конкретному місці.

Головна ідея — це створення компактної, ефективної альтернативи централізованому електропостачанню. Створена автономна установка виявилась особливо корисною в умовах нестабільного живлення, віддаленого населеного пункту та необхідності зниження витрат на електроенергію.

Розроблена ВЕУ є максимально безпечна, легка в обслуговуванні та адаптована до реальних умов побутового використання. В числі переваг ВЕУ приділено малій вазі конструкції, низькому рівню шуму, а також простоті монтажу без залучення підйомної техніки.

Після проведеного аналізу типового споживання електроенергії в приватних домогосподарствах було вибрано параметри потужності в межах 2...4 кВт. Така установка не потребує складної погоджувальної документації, легко інтегрується в існуючу електрмережу будинку і здатна реально покрити 40–80% середньодобового споживання енергії, або працювати як резервне джерело електроживлення.

Одним із важливих вузлів вітроустановки є роторна система, оскільки саме вона взаємодіє з енергією вітру та перетворює її на обертальний момент. У нашій конструкції ця система включає три основні компоненти: лопаті, втулку, та головний вал.

Було прийнято рішення використовувати три лопаті довжиною 2,1 м кожна. Така конфігурація дозволяє зберегти баланс між плавністю обертання, стійкістю до турбулентних потоків і простотою виготовлення.

Матеріалом лопаті обрано композит на основі скловолокна (GFRP) — це легкий, дешевий і технологічний варіант, що широко застосовується у серійному виробництві малої вітроенергетики. Всередині лопаті центральне ребро жорсткості, а також порожнина для зменшення маси. Зовнішній шар покритий захисним гелевим покриттям, стійким до ультрафіолету та дощу.

Лопать спроектована з поступовим переходом профілю вздовж довжини:

– біля кореня — товстіший профіль типу *NACA 4415* (висока підйомна сила, міцність);

– ближче до кінчика — тонший симетричний профіль *NACA 0012*, щоб зменшити опір і шум.

Ширина лопаті (хорда) зменшується від 180 мм до 80 мм. Кут атаки поступово знижується від 14° біля кореня до 5° на кінці. Такий підхід дозволяє підтримувати рівномірний розподіл навантаження по довжині та зменшує пікові вібрації.

Після виготовлення та монтажу всі лопаті обов'язково проходять динамічне балансування на верстаті або вручну — за допомогою шаблону та вантажів. Невелике асиметричне навантаження може створити значну вібрацію на обертах вище 300 об/хв, тому балансування є критично важливим.

Застосування сучасного генератора з постійними магнітами та прямої безредукторної передачі повністю виправдане з точки зору ефективності, вартості та надійності. Такий підхід дозволяє створити енергоефективну, просту в експлуатації установку, яка дуже добре підходить для приватного сектора та побутового застосування.

На відміну від великих промислових вітроустановок, у яких використовуються складні гідравлічні або дискові гальмівні системи, в малопотужних ВЕУ пріоритетом є прості, надійні та автономні методи обмеження обертання. Головне завдання такої системи — запобігти небезпечному розкручуванню ротора при надмірно сильному вітру (наприклад, понад 13–15 м/с), коли установка не встигає ефективно перетворювати механічну енергію на електричну або коли накопичувачі енергії вже заповнені. У нашій конструкції реалізовано поєднання двох гальмівних принципів — аеродинамічного та електронного. Це дає змогу створити систему, яка працює без участі користувача та не потребує складних сервісних операцій

У розробленій системі автоматичного керування ВЕУ вузол контролю та захисту виконує функції моніторингу параметрів, реагування на відхилення та реалізації алгоритмів безпечної роботи вітроустановки. Він є вбудованою частиною контролера заряду, але містить окремі апаратні й програмні компоненти, що працюють автономно від загального інверторного кола.

Основна логіка роботи реалізується за допомогою мікроконтролера, або попередньо сконфігурованої логіки в комерційному вітровому контролері.

Контрольовані параметри:

- напруга генератора (вхідна) - вимірюється після випрямляча — аналоговим датчиком (наприклад, модуль на ACS712 або подібний). Ціль — визначити, чи не перевищено допустимий рівень на вході контролера (> 60 В для системи 48 В);
- струм генератора (зарядний струм) - датчик струму (шунт або Hall-датчик) встановлюється між випрямлячем і АКБ. Забезпечує захист у разі перенавантаження або пробою муфти / генератора;
- напруга на акумуляторній батареї - безпосередній моніторинг для визначення рівня заряду. При перевищенні порогу (наприклад, 57 В для 48-вольтової системи) система перемикає енергію на гальмівне навантаження;
- температура гальмівного резистора - показує, чи не перегрівається силовий резистор при тривалому розсіюванні. Реалізується простим термодатчиком типу DS18B20 або аналоговим;
- датчик обертів (опційно) - датчик Холла на роторі або генераторі дозволяє оцінити частоту обертання — і в разі перевищення ліміту активувати екстрене гальмування. Таким чином, вузол контролю реалізує повний замкнутий цикл моніторингу від генерації до навантаження, з усіма ключовими точками контролю.

Усі сигнали знімаються з точок в реальному часі, обробляються в контролері, і викликають відповідні дії: гальмування, роз'єднання, перемикавання, аварійне відключення.

Перелік джерел посилань

1. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє / за ред. І. Плачкова. – Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-4/section-3>
2. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: навч. посіб / С. В. Сиротюк, В. М. Боярчук, В. П. Гальчак. – Львів: «Магнолія 2006», 2018. – 182 с.
3. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Циценков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335с.
4. Ivanov, O.V., Shkrabets, F.P., Zawilak, Jan. (2011). "Electrical generators driven by renewable energy systems", Wroclaw University of Technology, Wroclaw – 169 p
5. Кучеренко С.І., Бендерська О.О. Основи електропостачання. – К.: Ліпа-К, 2019.
6. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application / J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers. – Wiley, 2010.

USE OF CARBON–KEVLAR FIBER BLENDS FOR MANUFACTURING PRODUCTS BY 3D PRINTING

A. Polishchuk, O. Polishchuk

Khmelnytskyi National University

M. Bonek

Silesian University of Technology

S. Lisevych, A. Tolstiuk

Khmelnytskyi National University

Additive manufacturing technologies have rapidly evolved from tools for rapid prototyping to full-scale manufacturing methods for functional and structurally loaded polymer components. Among the various additive manufacturing techniques, extrusion-based processes such as fused deposition modeling (FDM), fused filament fabrication (FFF) and emerging screw-extrusion systems remain the most widely applied due to their simplicity, cost efficiency and compatibility with a broad range of thermoplastic materials [1]. However, the use of unfilled polymers such as ABS, ASA, PETG and polyamides in engineering applications is still limited by insufficient stiffness, low impact resistance, pronounced anisotropy and weak interlayer bonding inherent to layer-by-layer material deposition.

Fiber reinforcement is one of the most effective approaches to improving the mechanical performance of additively manufactured polymer parts. Carbon fibers are widely used to increase stiffness, tensile strength and dimensional stability of printed components. Composite filaments containing short chopped carbon fibers are already commercially available for conventional FDM/FFF 3D printers and are commonly based on PLA, PETG, ABS or polyamide matrices (Fig.1) [2].



Fig.1. ABS pro CCF (Carbon Fiber)

Such materials are compatible with standard extrusion systems equipped with hardened nozzles and are primarily intended for applications requiring increased rigidity, reduced thermal deformation and improved load-bearing capacity. Nevertheless, carbon-fiber-reinforced polymers typically exhibit brittle fracture behavior, reduced elongation at break and high sensitivity to stress concentrations, particularly in layered structures produced by material extrusion technologies.

Kevlar (aramid) fibers represent an alternative reinforcement material with fundamentally different mechanical behavior. Aramid fibers are characterized by high tensile strength, low density, excellent energy absorption capability and superior resistance to abrasion and fatigue. Their unique fibrillar microstructure promotes crack deflection, fiber pull-out and energy dissipation under mechanical loading, resulting in enhanced fracture toughness and damage tolerance of polymer composites. Composite filaments containing short Kevlar fibers are far less common on the commercial market compared to carbon-filled filaments. Existing Kevlar-reinforced filaments are typically based on nylon, polyamide or ABS matrices and are primarily designed to improve impact resistance, wear behavior and fatigue durability rather than stiffness (Fig.2) [3]. The production of such filaments is technologically challenging due to the flexible nature of aramid fibers, their tendency to fibrillate and the difficulty of achieving uniform dispersion during filament extrusion.



Fig.2. ABS Kevlar Filament

The combination of carbon and Kevlar fibers in hybrid reinforcement systems offers a promising approach to overcoming the limitations of single-fiber composites. In carbon–Kevlar fiber blends, carbon fibers act as the primary load-bearing phase, providing high stiffness and strength, while Kevlar fibers function as effective toughening agents that suppress brittle fracture and enhance impact resistance. At present, commercially available hybrid filaments simultaneously containing both carbon and Kevlar fibers are extremely limited or absent for standard desktop FDM/FFF 3D printers. Most hybrid carbon–Kevlar reinforcement concepts are reported in scientific publications and experimental studies, where composite formulations are prepared under laboratory conditions or processed using screw-extrusion and pellet-based additive manufacturing systems.

At the same time, it should be emphasized that the combined use of aramid and carbon fibers is already well established in other industrial sectors, particularly in technical textiles. Various ready-made products, such as aramid–carbon braided sleeves, hoses and protective textile structures, are successfully manufactured and applied for mechanical, thermal and chemical protection (Fig.3) [4].



Fig.3. Aramid-carbon sleeve

In these products, carbon fibers provide stiffness, dimensional stability and thermal resistance, while aramid fibers ensure flexibility, impact resistance and high energy absorption. The long-term industrial use of aramid-carbon hybrid textile products confirms the technological compatibility and functional synergy of these fibers, supporting the feasibility of transferring this hybrid reinforcement concept to polymer composites for additive manufacturing.

Recent studies indicate that polymer composites reinforced with carbon-Kevlar fiber blends exhibit pseudo-ductile failure behavior characterized by gradual damage accumulation rather than abrupt catastrophic fracture. Kevlar fibers effectively bridge cracks, redistribute stresses and reduce crack propagation rates, while carbon fibers maintain high stiffness and load-bearing capacity. This synergistic interaction leads to improved fracture toughness, enhanced interlayer adhesion and reduced sensitivity to printing orientation, which are critical advantages for dynamically loaded and safety-critical components produced by additive manufacturing.

Interlayer bonding remains a key challenge in extrusion-based 3D printing. Weak adhesion between adjacent layers often leads to delamination and premature failure under out-of-plane loads. While rigid carbon fibers may hinder polymer chain diffusion across layer interfaces due to increased melt viscosity, Kevlar fibers partially compensate for this effect by forming micro-scale mechanical links between layers. As a result, hybrid carbon-Kevlar composites demonstrate improved interlayer tensile and shear strength compared to single-fiber-reinforced systems.

Anisotropy is another inherent characteristic of material extrusion processes, arising from preferential fiber alignment along the material flow direction. Carbon fibers strongly amplify this anisotropy due to their high stiffness and directional load-bearing capability. Kevlar fibers, in contrast, exhibit more compliant behavior and contribute to stress redistribution across different orientations. Consequently, carbon-Kevlar hybrid composites show more balanced mechanical properties under multi-axial loading conditions, which is particularly important for complex geometries and components subjected to unpredictable service loads.

From a processing perspective, the use of carbon-Kevlar fiber blends presents both challenges and opportunities. Increased fiber content leads to higher melt viscosity, which may negatively affect extrusion stability, surface quality and nozzle wear. However, the flexibility of Kevlar fibers reduces the tendency of stiff carbon fibers to agglomerate and clog extrusion channels. This effect is especially relevant for screw-extrusion additive manufacturing systems, where continuous mixing and controlled shear enable more uniform fiber dispersion and higher reinforcement loadings than filament-based processes.

Screw-extrusion and pellet-based additive manufacturing technologies therefore represent a particularly promising platform for the future industrial implementation of carbon–Kevlar hybrid composites. These systems allow direct processing of composite granules, flexible adjustment of fiber ratios and improved mixing efficiency, as well as the potential use of recycled polymer matrices. Such capabilities significantly expand the material design space and support the development of cost-effective and sustainable high-performance composites.

In addition to mechanical improvements, carbon–Kevlar hybrid composites demonstrate enhanced thermal stability, wear resistance and environmental durability. Carbon fibers reduce thermal expansion and improve dimensional stability during printing and service, while Kevlar fibers maintain mechanical integrity under temperature fluctuations and resist moisture, UV radiation and chemical exposure. These properties broaden the applicability of hybrid composites to outdoor, tribological and harsh operating environments.

In conclusion, the use of carbon–Kevlar fiber blends in polymer composites for extrusion-based 3D printing enables the development of advanced materials with a balanced combination of stiffness, toughness and functional performance. While carbon-fiber-filled filaments are already well established for conventional 3D printers, Kevlar-filled and especially hybrid carbon–Kevlar filaments remain largely at the research and development stage. The existence of aramid–carbon hybrid products in technical textiles clearly demonstrates the practical viability of this fiber combination and supports its further adaptation to additive manufacturing technologies. Continued research into material formulation, fiber–matrix interface optimization and advanced extrusion processes is expected to facilitate the wider industrial adoption of carbon–Kevlar hybrid composites in mechanical engineering, robotics, transportation and aerospace applications.

Conclusions

Carbon–Kevlar fiber blends represent a promising direction for the development of next-generation polymer composites for additive manufacturing, with high potential for use in mechanically loaded, dynamically stressed and harsh-environment applications in mechanical engineering, robotics, transportation and aerospace sectors.

References

1. Polishchuk, A., Lisevych, S., & Bonek, M. (2025). Current status and prospects of the application of kevlar (aramid) fibers in polymer composites for 3D printing. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 359(6.1), 457-462. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-64>.
2. ABS pro CCF (Carbon Fiber) [Electronic resource]. – Access mode: <https://monofilament.com.ua/ua/products/inzhinernye-plastiki/kompozitsionnye-materialy-dlja-3d-printera/abs-pro-ccf-carbon-fiber-01-75mm-ves0-5kg> (date of application 08.12.2025).
3. ABS Kevlar Filament [Electronic resource]. – Access mode: <https://center3dprint.com.ua/magazyn/materialy-fdm/abs-plastyk/abs-plastik-3d/abs-z-kevarom-filament-spectrum-1-75mm-750g> (date of application 08.12.2025).
4. Aramid-carbon sleeve 60mm [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.rc-helper.com.ua/product/rukav-aramidno-vugleczevyj-60mm/> (date of application 08.12.2025).

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ
«ФЛАНЕЦЬ FL-0630-0220-M05» ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕРСТАТІВ З ЧПК**

**Чорний В.В.
Ткачук В.П.
Романішина О.В.**

Хмельницький національний університет

Фланці є відповідальними з'єднувальними елементами машин і трубопровідних систем, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності, співвісності та якості базових і ушільнювальних поверхонь. Від рівня їх виготовлення безпосередньо залежать герметичність, надійність та довговічність експлуатації вузлів. Тому удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» є актуальним інженерним завданням. Застосування верстатів з ЧПК дає змогу підвищити продуктивність, зменшити вплив людського фактору та скоротити допоміжний час за рахунок раціональної побудови маршрутів обробки, правильного вибору базування, інструменту та режимів різання.

Деталь FL-0630-0220-M05 «Фланець» входить до складу заднього моста автомобіля MAN. Вона є силовим елементом вузла з'єднання півосі із корпусом заднього моста автомобіля MAN TGS 40.440 6×6 BB CH. Він передає крутний момент від трансмісії до колісної пари, забезпечуючи герметичність та центрування підшипникового вузла.

Деталь є тілом обертання, що складається з двох зварених деталей: фланця і втулки. Фланець виготовляється з конструкційної сталі 35 ДСТУ 7809:2015, а втулка з легованої сталі 40X ДСТУ 7806:2015.

Проведено аналіз конструкції деталі Фланець FL-0630-0220-M05 та на основі аналізу базового технологічного процесу розроблено обґрунтовано новий технологічний процес її виготовлення. Під час проведення аналізу встановлено, що деталь Фланець FL-0630-0220-M05 в цілому відповідає усім якісним та кількісним критеріям, що необхідні для технологічного виготовлення.

В якості заготовки на деталь FL-0630-0220-M05 «Фланець» на підприємстві використовується зварна заготовка. Даний метод отримання заготовки дуже трудомісткий і матеріаломісткий, тому в якості заготовки на деталь FL-0630-0220-M05СБ «Фланець» було запропоновано розглянути штампування на пароповітряному молоті. Даний метод дозволить наблизити контур заготовки до контуру готової деталі.

Техніко-економічне обґрунтування по вибору заготовки і технологічного процесу, що було проведено в роботі та довело доцільність та економічність обраного варіанту. В роботі проведено зміну методу отримання заготовки, що дає можливість зменшити величину припусків, скорочення кількості проходів при механічній обробці.

Проаналізувавши конструкцію деталі (рис.1), спроектовано новий маршрут технологічного процесу виготовлення деталі фланець FL-0630-0220-M05, так було запропоновано проводити токарні операції за допомогою верстата з ЧПК DMG MORI CLX 750. Для виконання вертикально-фрезерної операції 030 обрано вертикальний обробний центр з числовим програмним керуванням DMG MORI DMC 1150 V, оскільки його технічні можливості повністю відповідають вимогам до забезпечення точності, якості поверхні та продуктивності оброблення. Для здійснення зубодовбальної операції було обрано GS-70N – зубодолбальний верстат від японської компанії Karats Precision, Inc., розроблений для виготовлення зубчастих коліс середніх та великих розмірів.

Проведено розрахунок режимів різання на операцію з токарню 010, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ DMG MORI CLX 750. Також розроблено карту наладки на операцію 005, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ моделі DMG MORI CLX 750 з УЧПУ «FANUC Oi». Обробка деталей ведеться в двох установках.

Виконано автоматизоване створення керуючої програми для обробки деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» у середовищі CAM Esprit.

Це забезпечило повний цикл автоматизованої підготовки виробництва деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» – від аналізу геометрії до формування готової керуючої програми, що гарантує високу точність, продуктивність та надійну повторюваність процесу обробки.

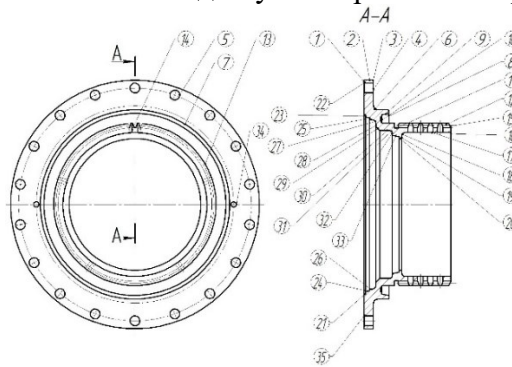


Рис. 1. Ескіз деталі Фланець FL-0630-0220-M05

Для обробки деталі FL-0630-0220-M05 «Фланець» на токарному верстаті з ЧПК спроектовано пневматичний клиновий патрон, який забезпечує надійне та стабільне закріплення заготовки, високу повторюваність позиціонування та скорочення допоміжного часу під час переналагоджень. Принцип роботи пневматичного клинового патрона полягає у перетворенні осьового руху плунжера в радіальне переміщення ползунів, на яких встановлені змінні кулачки. Конструкція патрону дозволяє отримати рівномірний радіальний затиск, що є критично важливим для точності обробки фланця та запобігає його деформації під час механічної обробки. Розподіл сил та моментів, що діють у механізмі при затиску, дозволяє забезпечити високий коефіцієнт самогальмування клинкової передачі, що підвищує надійність фіксації деталі навіть у разі коливань тиску в пневмосистемі. Завдяки такій конструкції досягається стабільність положення заготовки від переходу до переходу та зниження похибок, пов'язаних із повторюваністю базування. [1].

В роботі проведено проектування контрольно-вимірювального пристрою для контролю торцевого биття, що складається з базуючих елементів, затискаючого механізму та вимірювальної системи. Базування здійснюється по центральному отвору або по циліндричній поверхні фланця з використанням конічної оправки або центрувальної втулки. Такий спосіб забезпечує точне співпадіння осі обертання пристрою з геометричною віссю деталі, що є критично важливим для коректного вимірювання биття. Вимірювання торцевого биття здійснюється за допомогою індикатора годинникового типу, встановленого на стойці або важільному кронштейні. Новий технологічний процес з використанням верстатів з ЧПК, верстатний пристрій для надійного закріплення деталі при обробці, контрольне пристосування, спроектовані в роботі забезпечать значну економію часу, ресурсів, матеріальних витрат та забезпечать безпечні умови праці для працівників

Запропоновані в роботі зміни методу отримання заготовки та технологічного процесу дозволило скоротити допоміжний час, підвищити стабільність якості оброблення та забезпечити повторюваність результатів. Отримані результати підтверджують достатню міцність і працездатність деталі за заданих умов експлуатації. Розроблений технологічний процес відповідає вимогам сучасного машинобудівного виробництва та може бути рекомендований для впровадження у серійне виготовлення деталі

Перелік джерел посилань

Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В. Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ
«ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ 5154-18-22-А» ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВЕРСТАТІВ З ЧПК**

**Гончар Б.В.
Ткачук В.П.
Романішина О.В.**

Хмельницький національний університет

Деталь «Вал-шестерня» є важливою складовою механізмів, що працюють в режимах високих навантажень і зношування. 3D -модель деталі представлено на рис. 1. Матеріал, з якого виготовлено деталі – Сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 має високі механічні властивості, зокрема міцність, зносостійкість та термічну стабільність. Її використання дозволяє забезпечити тривалий термін експлуатації деталей, однак правильний вибір технології обробки є критично важливим для досягнення необхідної якості.

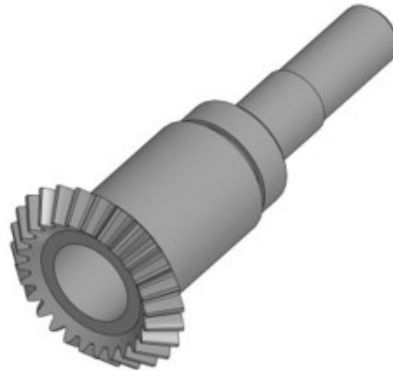


Рисунок 1 – 3D-модель деталі вал-шестерня 5154-18-22-А

Колесо конічне з круговим зубом відноситься до типу деталей циліндричної форми. У конструкції деталі присутні зубці, евольвентні шліци, різьблення, а також заглиблення під шестигранник. До всіх поверхонь, що обробляється, є вільний доступ ріжучого інструменту. У конструкції деталі відсутні площини, розташовані під тупим або гострим кутом, а також отвори, але є поглиблення під шестигранник.

В роботі проведено вибір виду і способу отримання заготовки. Для представленої деталі було розглянуто три способи одержання заготовки:

- 1) прокат;
- 2) кування;
- 3) штампування.

Розраховано коефіцієнти використання металу для перелічених видів отримання заготовки. Порівнюючи значення коефіцієнтів, можна дійти висновку, що кращим буде використання заготовок, отриманих з допомогою штампування. Але прокат є економічно вигідним. Даний варіант більш кращий, оскільки гарячекатаний прокат є найдешевшим і доступним варіантом з урахуванням дрібносерійного виробництва.

Для проведення проектування технологічного процесу механічної обробки заготовки розраховано оптимальні припуски, які забезпечили б задану точність та якість оброблюваних поверхонь. Вибрано технологічні бази та схеми закріплення деталі при операціях обробки [1].

Наступним етапом роботи було проектування технологічного маршруту механічної обробки деталі. В роботі було визначено послідовність операцій для виготовлення деталі «Вал-шестерня» згідно з технічними вимогами, умовами виробництва та необхідними параметрами точності та проведено вибір технологічного обладнання. Так, для заготівельної операції обрали автоматичний двоколонний стрічкопильний верстат Actual Power H-

300HA, для токарних операцій – токарний верстат з ЧПК DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II, для шліцефрезерної операції – шліцефрезерний верстат Mazak INTEGREX i-200S AG, для круглошліфувальної – круглошліфувальний верстат STUDER S31Pro, для зубофрезерної – Зуборізний верстат Mazak INTEGREX i-200S AG, для зубошліфувальної – зубошліфувальний верстат для конічних коліс із круговими зубами Gleason Phoenix 280C. Усе вибране обладнання є сучасним, точним, ефективним та безпечним, що призведе в реальних умовах виробництва до високого економічного ефекту при виготовленні деталі вал-шестерня 5154-18-22-A [2].

Розроблено керуючу програму для токарної обробки деталі з використанням САМ-системи ESPRIT, яка забезпечує повну інтеграцію з токарними верстатами з ЧПК та дозволяє здійснювати побудову, перевірку і оптимізацію траєкторій інструмента з урахуванням кінематики обладнання. Після завершення перевірки керуючу програму сформовано з використанням постпроцесора, адаптованого під систему ЧПК верстата DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II, та підготовлено до передачі у виробництво.

Для обробки деталі в роботі було проведено проектування спеціального пристрою для фіксації деталі при обробці. Розроблено схеми базування та розраховано необхідні зусилля затискача. Проведено проектування контрольно-вимірювального пристрою призначеного для контролю радіального биття циліндричних поверхонь деталі типу вал-шестерня відносно базової осі. Контроль здійснюється індикаторним методом під час обертання деталі, установленної на оправці. Запропонована конструкція вимірювального пристрою є простою у виготовленні, зручною в експлуатації та забезпечує надійний контроль радіального і торцевого биття циліндричних поверхонь деталі вал-шестерня відповідно до вимог геометричної точності. Спроектований контрольний пристрій розраховано на точність.

Розробка вдосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-A» призведе до підвищення точності її виготовлення, до оптимізації витрат на виробництво завдяки автоматизації процесів та забезпечить тривалий термін експлуатації деталі за рахунок покращення якості.

Перелік джерел посилань

1. Технологія виготовлення деталей машин / В. П. Камінський, І. О. Павленко. – Львів: Вид-во ЛНТУ, 2020. – 350 с.
2. Власенко, А. І. Технологія обробки матеріалів на верстатах з ЧПК / А. І. Власенко, О. М. Шевчук. — Харків: ХНАДУ, 2016. – 340 с.

ОСОБЛИВОСТІ ВАЛКОВОЇ ПАРИ МАШИНИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА МАТЕРІАЛИ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мазур А.

Горященко С.Л.

Хмельницький національний університет

Валки є ключовим елементом, що визначає принцип роботи машини. Вони забезпечують процеси нагнітання, розкачування матеріалу, що наноситься і допомагають у точному їх дозуванні. Без сумніву, конструктивні особливості таких машин відіграють важливу роль у якісному формуванні структури в'язкого середовища.

Конфігурація валків та частота їх обертання значно впливають на форму, тип і рівень механічної деформації матеріалу, забезпечуючи його оптимальні параметри. Цього ефекту досягають за рахунок правильного підбору форми поверхні, розмірів валків та їхньої кількості, а також налаштування чистоти робочого циклу (швидкості обертання та переміщення) протягом певного часу. У процесі враховуються всі зазначені чинники. Сучасні технології чітко регламентують вимоги до обладнання для нанесення покриттів. Діаметр валків при цьому становить від 100 до 250 мм, а оптимальна відстань між ними має бути в межах 10–12 мм. Поверхня валків у більшості випадків виконується рифленою, але все залежить від типу підкладки.

Робота машин, оснащених валками, спрямована на виконання технологічних операцій, таких як пресування, транспортування, формування покриття, а також формування профілю покриття з урахуванням фізичних властивостей полімеру. Конструкція таких машин доволі складна, особливо в порівнянні з іншими типами обладнання, що зумовлено специфічною кінематикою їх роботи. У робочому циклі машин з валками здійснюються наступні операції:

- заповнення робочого бункера необхідним матеріалом;
- стискання до заданого рівня тиску;
- переміщення матеріалів по поверхні валка;
- нагнітання та наповнення дозувальних пристроїв;
- стабілізація тиску для забезпечення належної роботи;
- нанесення полімерної маси на матеріал;
- повернення надлишків полімерної маси до робочого бункера камери.

Валок машини для нанесення полімерного матеріалу показано на рис.1.

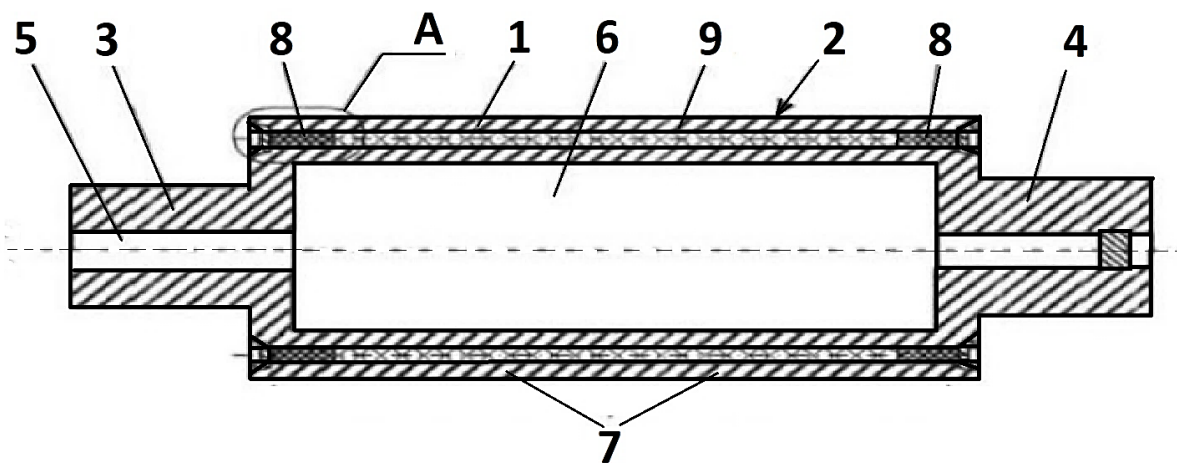


Рис.1. Валок машини Поздовжній розріз валка: 1 – циліндр, 2 – робоча поверхня з нанесеними пазами, 3,4 – цапфи, 5 – центральний канал для валу, 6 – порожнина, 7 – пази каналу, 8 – кінцеві ділянки, 9 – середня ділянка

Процес нанесення покриття показано на рис.2

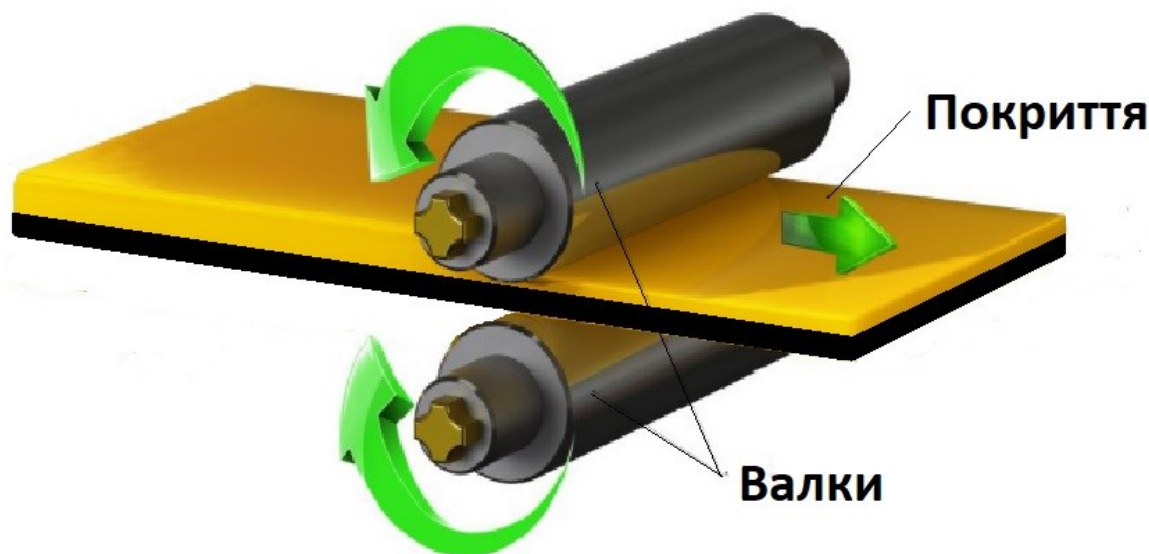


Рис.2. Нанесення полімеру на матеріал валками

Залежно від конструктивних особливостей валків, перелічені операції можуть комбінуватися, змінювати свою послідовність або взагалі вилучатися із процесу. Ці функції формують основну схему роботи машини, в якій ключову роль відіграє валкова пара. Під час роботи полімер потрапляє у проміжок між валками, забезпечуючи виконання основних завдань машини по нанесенню покриття.

Перелік джерел посилань

1. Лукач, Ю. Ю., Магазій, П. М., Мікульонок, І. О., & Рябцев, Г. Л. (1999). Виробництво листових і лінійних виробів з полімернаповнених композиційних матеріалів. *Хімічна промисловість України*, (5), 29–33.
2. Мікульонок, І. О., & Радченко, Л. Б. (2015). *Моделювання дискових екструдерів для перероблення полімерних матеріалів* (Монографія). НТУУ «КПІ».
3. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.

SELECTION OF KEVLAR AND KEVLAR–CARBON FIBERS FOR POLYMER COMPOSITES FOR SCREW-EXTRUSION 3D PRINTING

A. Polishchuk, O. Polishchuk*Khmelnytskyi National University***M. Bonek***Silesian University of Technology*

The modern development of additive manufacturing technologies leads to a growing demand for high-performance polymer composites that combine increased strength, impact toughness, wear resistance, and stability of properties over a wide range of loading conditions. In this context, particular attention is focused on 3D printing technologies based on screw extrusion, which enable the direct processing of composite mixtures containing a polymer matrix and short reinforcing fibers [1]. This approach opens new possibilities for the fabrication of composite materials with tailored properties and reduced limitations compared to conventional filament-based systems.

One of the promising reinforcing components for polymer composites is kevlar (aramid) fibers. They are characterized by low density, high specific strength, high energy absorption during fracture, and excellent resistance to fatigue loading and abrasive wear. Figure 1 shows a sample of chopped kevlar fibers prepared for subsequent incorporation into a polymer matrix. The clearly visible fibrous, fibrillar structure of kevlar determines its specific behavior during mechanical loading and processing. Unlike rigid mineral or carbon fillers, kevlar fibers are capable of deformation, microfibrillation, and the formation of efficient energy dissipation mechanisms.



Fig.1. Kevlar (aramid) fiber

The preparation of kevlar fibers for use in polymer composites intended for screw-extrusion 3D printing is a critically important stage that directly affects process stability and the final properties of printed products. The main objectives of this preparation include ensuring a controlled fiber length, reducing agglomeration, improving polymer wettability, and enhancing adhesion at the fiber–matrix interface. Typically, kevlar fibers are mechanically chopped to lengths of approximately 0.1–1.0 mm, which represents an optimal compromise between effective reinforcement and stable extrusion without clogging the screw channel.

Particular attention must be paid to achieving a uniform distribution of kevlar fibers within the polymer matrix. Due to their low density and high flexibility, kevlar fibers are prone to forming clusters and inhomogeneities, which can lead to pressure fluctuations in the extrusion zone and local deterioration of mechanical properties in the final parts. To minimize these effects, preliminary dry mixing with polymer powder or granules is commonly applied before feeding the material into the 3D printer.

A further step in the development of composite materials for additive manufacturing is the creation of hybrid mixtures that combine kevlar and carbon fibers. Figure 2 shows an example of such a mixture, in which the coexistence of light-colored kevlar fibers and dark carbon fiber

fragments is clearly visible. These hybrid systems enable a synergistic reinforcement effect, where carbon fibers provide high stiffness and strength, while kevlar fibers compensate for brittleness and enhance impact toughness and resistance to crack propagation.

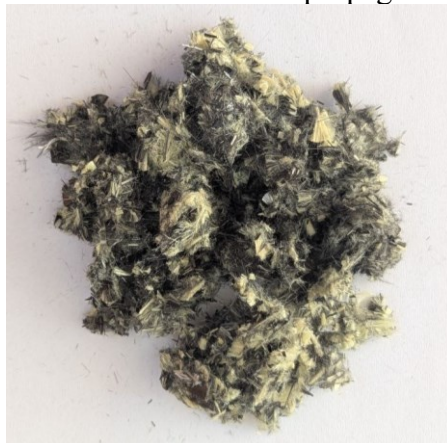


Fig.2. A mixture of kevlar and carbon fibers

The preparation of kevlar–carbon fiber mixtures has several specific features. Carbon fibers are significantly stiffer and more abrasive, which can negatively affect the wear of screws and nozzles, whereas kevlar, in contrast, acts as a softer and more flexible component. In hybrid compositions, kevlar fibers partially reduce the agglomeration of carbon fibers and contribute to stabilizing the melt flow in the extrusion channel. This is especially important for screw-based 3D printers, where the material is subjected to intensive shear loading and repeated mixing directly during the printing process.

From a technological perspective, screw extrusion is more suitable for processing short-fiber-reinforced composites compared to conventional filament-based systems. The screw allows control of mixing intensity, melt temperature and pressure, as well as adaptation of the process to a specific composite formulation. This enables the use of higher fiber contents (5–20 wt.%) than in filament materials without critically compromising printing stability.

The reinforcing mechanisms in composites based on kevlar and kevlar–carbon fibers are realized at multiple levels. At the microscale, kevlar fibrils act as bridges between microcracks, preventing their rapid growth and promoting gradual, pseudo-ductile fracture of the material. Carbon fibers, in turn, ensure efficient load transfer along the extrusion direction and increase the elastic modulus of the composite. In hybrid systems, these mechanisms complement each other, forming a more balanced set of properties.

It should also be noted that the combined use of aramid and carbon fibers has long been known in other industrial sectors, particularly in technical textiles, where protective sleeves, braids and composite shells are manufactured. This confirms the technological compatibility of these fibers and the feasibility of transferring established approaches to the field of polymer composites for additive manufacturing.

Thus, the preparation of kevlar and kevlar–carbon fibers is a key stage in the development of composite mixtures for screw-extrusion 3D printing. A rational selection of fiber length, mixing methods and processing conditions makes it possible to obtain materials with increased strength, impact toughness, wear resistance and stability of properties. Further research in this area should focus on optimizing the fiber–matrix system, controlling fiber orientation in printed parts, and adapting screw-based 3D printing systems for processing highly reinforced next-generation composites.

References

1. Polishchuk, A., Lisevych, S., & Bonek, M. (2025). Current status and prospects of the application of kevlar (aramid) fibers in polymer composites for 3D printing. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 359(6.1), 457-462. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-64>.

RECYCLING OF POLYMER WASTE FROM ADDITIVE MANUFACTURING USING SMALL-SIZED CRUSHERS

A. Polishchuk, O.P. Polishchuk, O. Polishchuk, S. Lisevych

Khmelnytskyi National University

A. Mazurkewich

Bydgoszcz University of Science and Technology

The rapid development of additive manufacturing technologies, in particular extrusion 3D printing methods such as FDM and FFF, has led not only to the expansion of the possibilities of manufacturing functional products with complex geometry, but also to the formation of new challenges associated with the formation of significant volumes of polymer waste. In the process of additive manufacturing, waste occurs at almost all stages of the technological cycle, starting from the preparation of a digital model and equipment setup and ending with post-processing of printed products [1]. These include defective or defective parts that arise as a result of temperature regime failures, errors in control programs, adhesion violations to the working platform, as well as auxiliary elements such as support structures, technological layers for stabilizing printing and filament residues after calibration or test runs (Fig. 1).



Fig. 1. ABS+ plastic waste generated during 3D printing

The waste is mainly composed of thermoplastic materials for technical purposes, in particular ABS, PLA, PETG, EVA, polyamide and polyurethane compositions, which are high-value petrochemical raw materials. In most cases, such materials retain a significant part of their physical and mechanical properties and can be reused if properly prepared. However, in the absence of effective local solutions for recycling, this waste accumulates or is disposed of together with household waste, which leads to loss of resources, increased cost of products and increased environmental impact on the environment. The problem of recycling polymer waste from additive manufacturing is particularly acute in small production facilities, training laboratories, research centers and workshops, where the volume of waste is insufficient for the economically feasible use of industrial recycling systems, but at the same time significant enough to require organized

disposal. In such conditions, the formation of local polymer recycling systems becomes particularly relevant and corresponds to the modern principles of the circular economy, focused on a closed material circulation cycle and minimizing resource losses. The key technological stage of polymer waste recycling is mechanical grinding, which ensures a reduction in material dimensions, equalization of the fractional composition and creation of prerequisites for subsequent extrusion, granulation or compounding operations. The quality of grinding directly affects the stability of subsequent technological processes, the homogeneity of the polymer melt and the properties of finished products obtained from secondary raw materials. Excessively large or uneven particles can lead to unstable material feed into the extruder, local overheating or degradation of the polymer, while an excess dust fraction negatively affects the rheological properties of the melt and complicates the process of forming products [2].

Modern shredders for polymer materials are distinguished by a wide range of design solutions, operating principles and productivity. Industrial shredders and crushers are focused on processing large volumes of waste and are characterized by significant dimensions, high installed capacity and a complex maintenance system. Their use is justified at large enterprises, however, for the conditions of small and medium-scale additive manufacturing, such solutions are often economically and organizationally impractical. In this regard, there is growing interest in small-sized shredders of household and semi-industrial class, which can effectively function as part of local recycling systems. The developed small-sized shredder (Fig. 2) for polymer waste of additive manufacturing is made according to the rotor-knife scheme (Fig. 3) and provides phased destruction of the material by cutting, shearing and abrasion.



Fig. 2. Mini-shredder for shredding polymer waste:
1 – frame; 2 - loading hopper; 3 – container for collecting shredded material; 4 – switch; 5 – cutting shaft speed regulator

The use of interchangeable calibration sieves allows you to adjust the particle size within a given range, which is an important condition for adapting secondary raw materials to specific technological needs. The compact design, moderate energy consumption and relative ease of maintenance make such a device suitable for use in production and educational environments without the need for specialized infrastructure.

Experimental studies of the process of grinding ABS+ plastic waste generated during 3D printing indicate the possibility of obtaining a stable and homogeneous fraction provided that the crusher operating modes are correctly selected. The use of sieves with different hole diameters allows you to form particles with sizes suitable for subsequent extrusion or granulation. The resulting material is characterized by uniform particle geometry, low dust fraction content and the

absence of significant signs of thermal or mechanical degradation, which is critically important for preserving the properties of the polymer during reuse.



Fig. 3. Shredder cutting mechanism

The introduction of small-sized shredders into the practice of additive manufacturing creates the prerequisites for the formation of closed local cycles of polymer materials circulation, within which waste can be directly converted into secondary raw materials without involving external processing enterprises. This allows reducing the costs of purchasing primary filament, reducing logistical costs associated with waste transportation, and increasing the overall economic efficiency of the production process. In addition, local recycling helps reduce the environmental load and form an environmentally responsible production model.

Small-sized shredders play a special role in educational and scientific laboratories, where they can be used as an element of the educational and research infrastructure to demonstrate the principles of resource conservation, circular economy and modern materials processing technologies. The use of such devices in the educational process allows you to combine theoretical training with practical skills in working with real equipment and contributes to the formation of engineering thinking focused on sustainable development.

Conclusions.

Recycling of polymer waste from additive manufacturing using small-sized shredders is a promising and technically sound direction that combines economic feasibility, environmental efficiency and high adaptability to the conditions of small-scale production and laboratories. Further research in this direction should be directed towards optimizing the designs of cutting mechanisms, increasing the wear resistance of knife systems, automating the processes of feeding and sorting material, as well as integrating shredders with extrusion and granulation modules in order to create full-fledged local complexes for the reprocessing of polymer materials.

References

1. Rubanka, M. M., & Misiats, V. P. (2015). Vidkhody lehkoï promyslovosti, sposoby pererobky ta oblasti podalshoho vykorystannia [Waste of light industry, methods of processing and areas of further use]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky*, No. 4(88), Pp. 34–39.
2. Polishchuk, A. O., Skyba, M. Ye., & Polishchuk, O. S. (2023). Perspektyvy rozrobky obladnannia dlia podribnennia vidkhodiv 3D-druku [Prospects for the development of equipment for grinding 3D printing waste]. In *Mekhatronni systemy: innovatsii ta inzhynirynh: tezy dopovidei VII Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii* (Kyiv, 2023), Pp. 115–116. Kyiv: KNUTD.

ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Солом'яний Є.О.
Горященко К.Л.

Хмельницький національний університет

Опишемо проблему визначення розпізнавання об'єктів. Для простоти вважатимемо об'єкт чорно-білим, отриманим шляхом нанесення або не нанесення на папір або ж його модель, у певних його місцях чорних точок. На дисплеї чи екрані отримуємо проблему забезпечення відсутності освітленості пікселів. Пронумеруємо від 1 до n усі локації, де можна ставити чорні точки. У s – тому місці може стояти або не стояти чорна точка. Це опишемо тим, що $x_s=1$, або відповідно $x_s=0$. У результаті довільне зображення описується послідовністю чисел x_1, x_2, \dots, x_n .

Тепер введемо n – вимірний простір X із координатами x_1, x_2, \dots, x_n . Зображення представляється у ньому деякою точкою x . Якщо зображення складається лише із чорних і білих точок, то простір X і точку зображення x можна було б наглядно нарисувати. Однак у реальності координат x_1, x_2, \dots, x_n тисячі і сотні тисяч. Використаємо n – вимірну систему координат із n осями і точкою x – зображенням. Таким чином, конкретний об'єкт-рисунок – це точка x в багатовимірному просторі X всеможливих зображень.

Образ – це нечітке узагальнене представлення усіх конкретних зображень або дещо узагальнююче усі такі зображення, тобто множина точок x у багатомірному просторі X , відповідному усім цим зображенням. Будемо уявляти цю множину точок у виді деякої розмитої хмарки, назвавши її A (рис. 1.5). Іншому образу буде відповідати інша розмита хмарка, нехай це буде B . Наприклад, A – це область залишкових напружень у композиті, величина яких не перевищує α , а B – відповідно величини $\beta, \beta \gg \alpha$. Далі, будемо математичну модель конкретного зображення і множини усіх зображень, що складає образ. Таким чином, розпізнавання образів при такому підході – це вміння виявити, до якої із хмарок, A чи B , належить точка x , що відповідає зображенню об'єкта. Постає питання приналежності точки x хмарці A або ж B . Розділимо хмарки A та B гіперплощиною або у більш загальному випадку гіперповерхнею S (рис. 1).

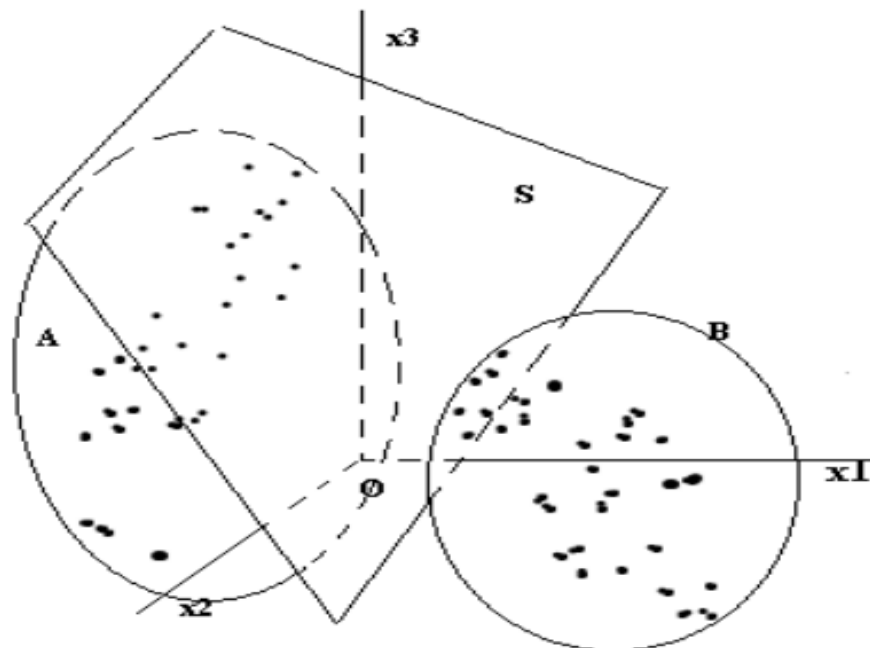


Рис.1. Гіперплощина S розділяє об'єкти A та B

По одну сторону її буде знаходитись хмарка А, а з іншої – В. Гіперповерхня S – це множина точок, на яких перетворюється у нуль деяка функція $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. З одного боку поверхні, $x \in A, f > 0$, а з іншої, $x \in B, f < 0$.

$$f(x, a) = a_1 \cdot \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) + \dots + a_n \cdot \varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad (1)$$

де x – точка багатомірного простору X з координатами-ознаками x_1, x_2, \dots, x_n ; а a_1, a_2, \dots, a_n – невідомі параметри, які потрібно підібрати так, щоб вона задавала шукану розділяючу поверхню, тобто, щоб для всіх точок $x \in A, f > 0$, а для всіх $x \in B, f < 0$ при $x \in A, f(x, a_i) < 0$ при $x \in B$. До цього моменту мова йшла про розпізнавання двох образів, але уміючи розпізнати два, неважко розпізнати довільну їх кількість. Достатньо лише, наприклад, кожну із множин відрізнати від інших.

Припустимо, що потрібно розпізнавати три образи, які ми умовно називаємо образами А, В і С. У просторі рецепторів цим образам відповідають три невідомі, що існують об'єктивно у вигляді компактних множин точок. На рис. 1 ці множини зображено як три А, В і С. Таким чином повторюючи дане розділення об'єктів можемо сформувати таблицю точок, що дасть можливість їх розпізнати.

Відомо, що такі результати отримуються тоді, коли точки лежать по різні боки від площини. Домовимося позначати положення обраної точки відносно січної площини значком «1», якщо при підставленні координат цієї точки у ліву частину рівняння площини отримуємо додатне число із значком «0» у протилежному випадку. Будемо вважати, що точка має знак «1» чи знак «0» відносно цієї площини.

Перелік джерел посилань

1. Volodymyr Puida. Computer vision system for research in the area of defectoscopy for materials and products. CSN. 2022; Volume 4, Number 1 : pp. 122 – 130 <https://doi.org/10.23939/csn2022.01.122>
2. Гнучкі системи технічного зору. <https://omron.com.ua/ru/catalog/sistemy-kontolia-kachestva/gibkie-sistemy-tehnicheskogo-zreniya>
3. Системи візуального контролю MULTIVAC. https://multivac.com/ua/uk/our-solutions/portfolio/inspection-solutions/visual-inspection-systems?utm_source=chatgpt.com
4. Системи технічного контролю OMRON https://www.omron.com.ua/ru/catalog/sistemy-kontolia-kachestva/sistemy-tehnicheskogo-kontrolya?utm_source=chatgpt.com
5. Ramos, Leo & Rivas, Francklin & PГ©rez, Anna & Casas, Edmundo. (2023). Artificial intelligence and sustainability in the fashion industry: a review from 2010 to 2022. SN Applied Sciences. 5. 10.1007/s42452-023-05587-2.
6. Соломяний, Є., Горященко, С., & Горященко, К. (2025). Розробка Алгоритму для автоматизованого контролю дефектів матеріалів у виробництві взуття. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 347(1), 496-499. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-67>

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ВЗУТТЄВОЇ МАШИНИ**Левченко С.В.
Горященко С.Л.***Хмельницький національний університет*

Конструкція механізму подачі значною мірою залежить від обраного методу обробки. У випадку послідовного методу механізми подачі повинні забезпечувати переміщення деталей протягом кількох циклів обробки чи скріплення. Натомість, при паралельному методі така потреба у переміщеннях усувається. Залежно від методу обробки, взуттєві машини оснащуються або механізмами автоматичної подачі деталей та матеріалів до робочих органів для їхньої обробки, або механізмами для подачі деталей безпосередньо під час їхнього оброблення на машині. Особливості конструкції механізмів подачі залежать від форми та розмірів деталей, їх матеріальних властивостей, а також від кількості деталей, які подаються протягом кожного циклу роботи машини.

Під час розробки приводу для відділювачів необхідно передбачити механізм, який захищатиме деталі від поломок у разі заклинювання. Передача руху до відділювачів повинна здійснюватися за допомогою пружин або через них. У системах, що регулюють кількість поданих деталей, слід встановлювати пристрої для налаштування інтенсивності роботи відділювачів. Орієнтувальні пристрої призначені для забезпечення правильного розташування деталей відносно робочих елементів машини та виробів. Процес орієнтації деталей реалізується за допомогою гравітаційного чи примусового принципу. Поєднання або розділення операцій відділення і орієнтації дозволяє спростити конструкцію механізму. Розподільчі пристрої використовуються в механізмах із послідовним або комбінованим (паралельно-послідовним) типом подачі деталей. Досягнення точної орієнтації деталей стосовно робочих органів машини можливе лише за умови синхронної роботи відділювачів та розподільників. У механізмах автоматичної подачі таких плоских деталей, як устілки чи задники, відсутні пристрої для автоматичної орієнтації. Деталі вручну вкладають у бункер у визначеному положенні, звідки вони автоматично спрямовуються на обробку. Використання бункерів для подачі плоских деталей підвищує продуктивність і знижує ризик виробничого травматизму. При проектуванні механізмів автоматичної подачі плоских деталей визначають об'єм бункера та забезпечують можливість безперервного автоматичного подавання деталей різних розмірів. Розмір бункера залежить від габаритів оброблюваних деталей, продуктивності обладнання, а також умов його експлуатації та обслуговування.

Машини з коротким циклом обробки потребують постійного забезпечення робочого процесу для підтримання безперервної подачі деталей у бункер. Економічна ефективність значно зростає при подачі плоских деталей взуття, зокрема для машин із тривалим циклом обробки. Це дозволяє здійснювати періодичне завантаження бункера кожні 10–20 хвилин. Тривалість безперервної роботи машини, що позначається як t хвилин, розраховується за наступною формулою:

$$t = \frac{E}{n \cdot K},$$

де E — кількість деталей, що завантажуються одночасно;

n — кількість циклів машини за одну хвилину (60 секунд);

K — кількість деталей, що подаються за один цикл.

Для збільшення тривалості роботи машини без необхідності постійного втручання можна виготовити бункер із додатковими секціями або касетами. У випадку тривалого циклу обробки деталей стає можливим одночасне обслуговування декількох машин.

Кількість таких машин, що можуть обслуговуватися одночасно, позначається як z .

$$z = \frac{t}{\tau} \cdot m = \frac{E}{n \cdot K \cdot \tau} \cdot m,$$

де τ — час завантаження бункера, с;

m — кількість секцій бункера.

Конструкція бункера повинна забезпечувати зручність обслуговування пристрою й передбачати регулювання для роботи з деталями різних розмірів. Зазвичай для зручності спостереження дві стінки бункера залишають відкритими. Особливості конструкції відділювачів деталей із бункера залежать від жорсткості подаваних деталей. Відділення жорстких деталей, таких як підошви, устілки чи задники, здійснюється методом штовхання. Хід штовхача визначається найбільшою довжиною подаваних деталей і встановлюється рівним:

$$S = (1,05 - 1,1) \cdot l_{\max},$$

де l_{\max} — найбільша довжина деталі в напрямку її подачі.

При переміщенні деталі не повинні деформуватись. Відділення деталей з низькою жорсткістю, таких як верх взуття, може здійснюватися за допомогою пневматичних захватів. Це дає змогу значно спростити конструкцію механізму та захистити подані деталі від можливих пошкоджень під час захоплення.

Перелік джерел посилань

1. Пат. 569874 Україна, МКИ В65 В13/26 Машина ЗВЗ-О для глухої цвяхової зтяжки заготовки взуття на колодці й прикріплення зтяжної кромки до устілки цвяхами / В.М. Задорожня, О.Л. Кушнюк - № 96072823; Заявл. 01.12.94, Опубл. 17.09.2001, Бюл. №8-2 с.

2. Пат. 44369 Україна, МКИ В65 G47/82 Машина ВБЗ-О для прибивання в краях берців взуттєвих заготовок з шкіри, шкірозамінників і текстилю одноряд-ної вставки й розклепування в них металевих відкритих, схованих і фігурних блочок / О.І. Душнюк, А.Н. Столяр - № 2000031528; Заявл. 18.09.98, Опубл. 15.02.2002, Бюл. №2-2 с.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

Демко А.С.
Смутко С.В.

Хмельницький національний університет

Актуальність дослідження. У статті досліджено актуальність розробки та детального вивчення конструкції пристрою, який гарантуватиме належне здійснення технологічних операцій, де критично важливим є підтримання заданих температурних умов.. Опрацьовано головні аспекти, які потребують вирішення у процесі вдосконалення тепловимірювальних установок та конструкцій апаратури. За підсумками вивчення та аналізу вже існуючих конструкцій систем автоматизованого контролю температури, було виявлено їхні специфічні риси, а також проведено розбір сильних та слабких сторін

Метою даного дослідження є обґрунтування актуальності та визначення перспективних напрямів розробки пристрою автоматичного контролю температури, що забезпечує його енергоефективність, надійність та адаптивність до різних умов експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- огляд та аналіз наявних способів і інструментів для створення апаратурних комплексів визначення та підтримання теплового режиму;
- виконати аналіз автоматичного процесу вимірювання температурного режиму;
- розробити модель універсального пристрою вимірювання температури;
- створити устаткування для автоматичного керування тепловими показниками.

Основні матеріали досліджень.

Показник теплового стану, тобто температура, є однією з тих фізичних величин, які фіксуються найчастіше. Термодатчики, своєю чергою, становлять собою одну з найсуттєвіших категорій сенсорів, їхня значущість навіть вважається першорядною.

Вкрай важливо брати до уваги температурний режим у процесі контролю численних як природних, так і створених людиною явищ. Апаратура для вимірювання та підтримки заданої температури широко інтегрована у сферу техніки, а саме:

- у системах, призначених для обігріву приміщень;
- у різноманітних електронагрівальних пристроях;
- в охолоджувальному обладнанні, як-от холодильники та морозильні камери, а також під час промислового виготовлення;
- в процесі створення високочистих компонентів для інтегральних мікросхем;
- широкому колі інших виробничих та технологічних операцій;
- коли здійснюються наукові дослідження та досліди.

Зважаючи на велику кількість різноманітних завдань, де життєво необхідно володіти інформацією про температурні показники об'єктів, виникла потреба у створенні цілого спектру температурних сенсорів, призначених для різних цілей.

Добре відомими є ті перетворювачі температури, що функціонують шляхом зміни електричних параметрів, приміром, опору чи напруги. На часі, завдяки поступу в сфері електроніки та комунікаційних технологій, значно зросла популярність датчиків, які видають вихідний сигнал у цифровій формі. Застосування температурних сенсорів нерозривно пов'язане із необхідністю створення апаратури для роботи з їхніми вихідними даними. Таке обладнання слугує для маршрутизації сигналів від датчиків до систем керування (автоматики), а також для трансформації цих сигналів у формат, що легко сприймається оператором, наприклад, для відображення їх на індикаторах.

Окрім прямих термометричних вимірювань, температура може слугувати критерієм для опосередкованого визначення інших характеристик. Це стосується, скажімо,

швидкості руху рідинних або газоподібних середовищ, а також урахування її впливу на такі властивості, як тиск, лінійні розміри чи об'єм.

Збільшення кількості виробників та розширення асортименту продукції, призначеної для фіксації, вимірювання, модифікації, опрацювання та контролю температурних режимів, однозначно підтверджує високу значущість цієї тематики.

Було розглянуто математичний опис універсального апарату для вимірювання температури. Сформовано повний комплект алгоритмів, що дає змогу створити алгоритм управління пристроєм вимірювання температури за допомогою мікропроцесора.

Сформовано висновок про слушність розробки системи автоматичного регулювання температури (САРТ), яка забезпечить високу якість виконання технологічних процесів, що вимагають стабільного температурного режиму.

На базі розроблених структурної та електричної принципової схем САРТ були виготовлені друковані плати, придатні для використання як у побутових, так і у промислових умовах.

Було створено програмне забезпечення для САРТ, яке надає можливість коригувати рівень напруги, що подається на нагрівальні елементи, залежно від фіксованої температури всередині нагрівальної камери, використовуючи методи фазово-імпульсного керування або алгоритм Брезенхема.

Висновок. Розробка автоматизованої системи контролю температури є актуальним завданням сучасної інженерії. Вирішення існуючих проблем дозволить створити ефективні універсальні системи, здатні працювати у різних сферах людської діяльності.

Перелік джерел посилань

1. Курилов А. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. / А. Ф. Курилов, В. М. Козін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.
2. Ельперін, О.М. Автоматизація виробничих процесів: Підручник / Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед — К.: Видавництво Ліра-К, 2015 — 300 с.
3. Новацький А.О. Мікропроцесорні та мікроконтролерні системи. Підручник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2020. — 361 с.
4. Автоматизація виробничих процесів : підручник / О. І. Черевко, Л. В. Кіптела, В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Харків, 2014. – 186 с.
5. Федік Л. Ю. Виробничі процеси і обладнання об'єктів автоматизації: навч. посіб. / Л. Ю. Федік, Л. О. Гуменюк, П. О. Гуменюк. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020. – 287 с

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНАХ ЦИКЛІЧНОГО ШИТТЯ ЛАЗЕРНИМИ МЕТОДАМИ

Красій М.
Поліщук О.
Єрій А.
Лісевич С.

Хмельницький національний університет

Сучасний етап розвитку легкої промисловості характеризується інтенсивним упровадженням автоматизованих та роботизованих технологій, що спрямовані на підвищення продуктивності, стабільності якості продукції та зниження впливу людського фактора на виробничі процеси. Особливе місце серед технологічного обладнання займають промислові машини циклічного шиття, які широко застосовуються для виготовлення складних вузлів швейних виробів, елементів одягу, взуття, технічного та спеціального текстилю. Такі машини забезпечують високу повторюваність операцій, точне дотримання траєкторій руху робочих органів та можливість інтеграції додаткових технологічних модулів.

Одним із найбільш перспективних напрямів модернізації машин циклічного шиття є використання лазерних вузлів для виконання операцій різання, підрізання та формування контурів заготовок без механічного контакту з матеріалом. Газові вуглекислотні лазери, які застосовуються у швейних автоматах, вирізняються достатньою потужністю, високою енергоефективністю, стабільністю параметрів випромінювання та відносно невисокою вартістю експлуатації. Завдяки цьому лазерні технології поступово витісняють традиційні механічні ножі у багатьох операціях, де важливо забезпечити чистий зріз, мінімізувати деформацію матеріалу та зменшити зношування інструменту [1, 2].

Разом із тим, аналіз практики експлуатації сучасних промислових швейних автоматів показує, що наявні конструкції лазерних вузлів не повною мірою відповідають вимогам гнучкого виробництва. Основною проблемою є обмежені можливості адаптації фокусної відстані лазерної головки до реальної геометрії оброблюваних заготовок. У процесі виготовлення швейних виробів часто використовуються пакети матеріалів зі змінною або нерівномірною товщиною, що обумовлено наявністю перекриттів шарів, підгинів, швів, декоративних елементів та локальних потовщень (рис.1). За таких умов фіксована або дискретно регульована фокусна відстань призводить до нестабільної якості різання.

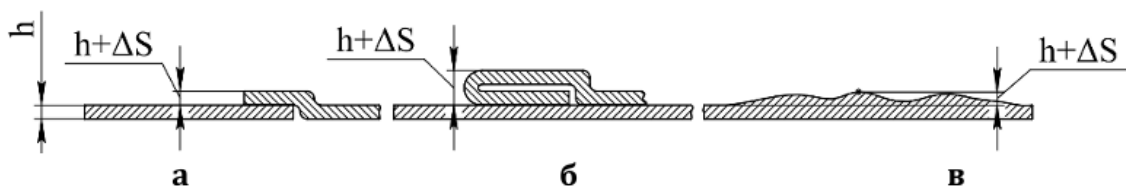


Рис. 1. Основні типи потовщень: а – перекриття матеріалів
б – перекриття матеріалів з підгином; в – нерівність поверхні заготовки

Невідповідність положення фокуса лазерного променя поверхні матеріалу викликає низку негативних наслідків, серед яких погіршення якості зрізу, оплавлення або обвуглення краю тканини, локальне перегрівання матеріалу та зниження точності геометричних розмірів заготовки. У критичних випадках можливе навіть виникнення полум'я в зоні різання, що несе загрозу безпеці технологічного процесу та призводить до зростання відсотка браку. Таким чином, задача забезпечення стабільної фокусної відстані лазерної головки незалежно від змін висоти поверхні заготовки є актуальною з наукової та практичної точок зору.

У ході дослідження проаналізовано існуючі конструктивні рішення лазерних головок, що застосовуються у промислових машинах циклічного шиття. Зокрема, розглянуто лазерні вузли з жорстко зафіксованим положенням фокусної лінзи, які відзначаються простотою конструкції та невисокою вартістю, але придатні лише для обробки тонких і однорідних матеріалів. Також досліджено системи з двопозиційним перемиканням фокусної трубки, що дозволяють частково адаптувати лазерну головку до різної товщини заготовок, проте не забезпечують безперервного регулювання фокусної відстані під час виконання технологічного циклу.

Проведений аналіз показав, що навіть використання пневматичних приводів у лазерних вузлах дозволяє реалізувати лише обмежений набір фіксованих положень фокусної лінзи, що не відповідає вимогам обробки складних багатошарових заготовок. Відсутність активного автофокусування суттєво знижує технологічну гнучкість машин циклічного шиття та обмежує можливість використання шаблонів складної конструкції.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні принципу та розробці конструкції лазерної головки з інтегрованою системою активного автофокусування, що забезпечує безперервну адаптацію фокусної відстані до рельєфу поверхні заготовки в режимі реального часу. Запропонована система базується на використанні безконтактного лазерного датчика відстані, який здійснює сканування поверхні матеріалу без механічного впливу на нього. Отримана інформація передається до системи керування швейної машини, де формується керуючий сигнал для приводу механізму регулювання положення лазерної головки.

Для забезпечення високої швидкодії та точності регулювання у конструкції застосовано важільний механізм у поєднанні з кроковим або серводвигуном, що дозволяє швидко змінювати положення фокусної лінзи відповідно до змін висоти поверхні матеріалу. Такий підхід дає змогу узгодити роботу системи автофокусування з високими швидкостями різання, характерними для машин циклічного шиття, без необхідності попереднього програмування складних алгоритмів руху приводу.

Практичне значення запропонованого рішення полягає у можливості його впровадження у серійні та модернізовані зразки промислових швейних автоматів. Адаптивний лазерний вузол дозволяє суттєво підвищити стабільність якості різання, зменшити тепловий вплив на матеріал, знизити частку бракованої продукції та розширити технологічні можливості обладнання. Крім того, відносна простота конструкції та автоматизований характер роботи системи автофокусування не потребують підвищення кваліфікації операторів і не ускладнюють процес експлуатації машин.

Отримані результати створюють передумови для подальшого розвитку інтелектуалізованих технологічних систем у легкій промисловості та можуть бути використані під час проєктування нових поколінь швейних автоматів із підвищеним рівнем адаптивності та енергоефективності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальну оцінку впливу параметрів автофокусування на якість зрізу різних типів матеріалів, оптимізацію конструкції механізмів переміщення лазерної головки, а також інтеграцію адаптивних лазерних вузлів у складі комплексних автоматизованих і роботизованих виробничих систем.

Висновки. Обґрунтовано доцільність упровадження адаптивних лазерних вузлів у машини циклічного шиття для стабілізації якості різання матеріалів змінної товщини. Показано, що система активного автофокусування забезпечує зменшення теплового впливу, підвищення точності обробки та розширення технологічних можливостей швейних автоматів.

Перелік джерел посилань

1. Institute Book Series), Pp. 199–236. Cambridge: Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101211-6.00009-4>.
2. CN1145598A. (1996). A kind of laser cutting device for sewing machine. Zhejiang University of Technology (CN). Published April 3, 1996.

ОГЛЯД ЛИТТЄВИХ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ 3D ДРУКУ

Поліщук А.О.
Загуровський М.С.
Поліщук О.С.
Поліщук І.О.
Малярчук О.О.

Хмельницький національний університет

Стрімкий розвиток адитивних технологій, зокрема FDM/FFF-друку, зумовив не лише зростання обсягів виготовлення полімерних виробів, але й накопичення значної кількості технологічних відходів у вигляді підтримок, бракованих деталей, залишків філаменту та експериментальних зразків. Для більшості поширених термопластів, таких як PLA, ABS, PETG, PA та їх композитів, характерною є можливість повторної термічної переробки, що відкриває перспективи організації замкнених матеріальних циклів безпосередньо в умовах лабораторій, освітніх центрів або малих виробництв. У цьому контексті особливої актуальності набуває використання малогабаритних і настільних литтєвих машин, які дозволяють перетворювати подрібнені або гранульовані відходи 3D-друку на нові функціональні вироби методом лиття під тиском.

Литтєві машини для переробки відходів адитивного виробництва принципово відрізняються від класичних промислових термопластавтоматів меншими габаритами, зниженим зусиллям змикання форми, спрощеною конструкцією вузлів та можливістю роботи з обмеженими партіями матеріалу. Вони орієнтовані на дослідницькі, навчальні та дрібносерійні задачі, де важливими є універсальність, енергоефективність і простота переналагодження. Типова технологічна схема включає етапи подрібнення відходів FDM-друку, їх сушіння, за необхідності – компаундування або грануляції, після чого матеріал подається в інжекційний вузол литтєвої машини.

Одним із найвідоміших прикладів настільних рішень є машини компанії Precious Plastic, які розробляються в межах відкритого міжнародного проєкту з переробки пластикових відходів (рис.1-4) [1, 2].



Рис.1. Екструзійна машина для переробки відходів пластику



Рис.2. Інкєкційна машина для переробки відходів пластику

Машини Precious Plastic дозволяють переробляти подрібнений пластик у прості вироби – зразки, кріпильні елементи, корпусні деталі. Хоча ці установки спочатку не були

спеціалізовані саме під відходи 3D-друку, вони широко використовуються в лабораторіях і FabLab-центрах для переробки PLA та ABS-відходів після FDM-друку.



Р

Рис.3. Професійна екструзійна машина для переробки відходів пластику



Рис.4. Прес для переробки відходів пластику у листи

Більш технологічно орієнтованим рішенням є настільні інжекційні машини Holipress, зокрема модель Holipress DESKTOP INJECTION MOLDING MACHINE (рис.5) [3].



Рис.5. Прес Holipress для лиття пластику

Ці установки поєднують компактні розміри з достатньо високим тиском упорскування, що дозволяє виготовляти дрібні технічні деталі з PLA, ABS, PETG та поліамідів, у тому числі з матеріалу, отриманого шляхом переробки відходів 3D-друку. Машини Holipress застосовуються в університетських лабораторіях для експериментальних досліджень впливу параметрів лиття на властивості вторинних полімерів.

Суттєвий інтерес для наукових досліджень становлять установки Babyplast, які належать до класу мікролиттєвих машин (рис.6) [4].

Вони забезпечують високу точність дозування матеріалу та стабільність температурно-тискових режимів, що є критично важливим при роботі з вторинною сировиною, властивості якої можуть змінюватися після багаторазових циклів переробки. Машини Babyplast дозволяють проводити систематичні експерименти з відходами FDM-друку, оцінюючи деградацію полімеру, зміну в'язкості розплаву та механічних характеристик готових виробів.

Окрему нішу займають лабораторні та навчальні литтєві машини компанії BOY Machines, які хоча й є повноцінними термопластавтоматами, проте випускаються у

компактних виконаннях з малим зусиллям змикання [5]. Такі машини доцільні для переробки відходів 3D-друку у вигляді грануляту з подальшим виготовленням стандартних зразків для механічних випробувань. Це особливо важливо в дисертаційних дослідженнях, де необхідно коректно порівнювати властивості первинних і вторинних матеріалів.



Рис.6. Термопластавтомат для лиття високоточних мікрокомпонентів.

Аналіз конструкцій литтєвих машин, що застосовуються для переробки відходів 3D-друку, свідчить про наявність низки специфічних вимог. По-перше, такі машини повинні забезпечувати стабільну роботу з матеріалом, який має підвищену неоднорідність за фракційним складом і реологічними властивостями. По-друге, важливою є можливість точного керування температурними режимами, оскільки вторинні полімери є більш чутливими до термодеструкції. По-третє, конструкція інжекційного вузла має забезпечувати легке очищення та швидку зміну матеріалу, що є типовим для лабораторних і дослідних умов.

Узагальнюючи наведений огляд, можна стверджувати, що сучасні литтєві машини малогабаритного та настільного класу створюють реальну технічну базу для ефективної переробки відходів 3D-друку. Їх застосування дозволяє реалізувати концепцію циркулярної економіки в адитивному виробництві, зменшити матеріальні втрати та розширити функціональні можливості вторинних полімерів. Подальше вдосконалення таких машин, зокрема шляхом оптимізації геометрії гвинтових пластикаторів, систем нагріву та режимів упорскування, є актуальним науково-технічним завданням і безпосередньо пов'язане з обґрунтуванням конструкційно-технологічних параметрів литтєвих машин для переробки відходів 3D-друку.

Перелік джерел посилань

1. Basic machines [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/basic>.
2. Pro machines [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/pro>.
3. HoliPress, преси для лиття пластику [Electronic resource]. – Access mode: <https://holimaker.fr/en/holipress-plastic-injection/>.
4. Horizontal Injection Machines [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.babyplast.com/macchine-a-iniezione-orizzontale>.
5. Injection molding machine BOY XXS [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.boymachines.com/products/boy-injection-molding-machines/>.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ FDM 3D-ДРУКУ

Сухоствавський В.
Скиба М.
Поліщук А.
Поліщук О.

Хмельницький національний університет

Активний розвиток адитивних технологій виробництва зумовив перехід FDM 3D-друку від інструменту прототипування до повноцінної виробничої технології, що використовується у промисловості, наукових дослідженнях і малосерійному виробництві. Разом із зростанням швидкості друку, складності геометрії виробів і вимог до їхніх експлуатаційних характеристик зростає й актуальність проблеми стабільного забезпечення якості процесу друку. Традиційні відкриті системи керування FDM-принтерів не здатні своєчасно реагувати на збурення, що виникають під час екструзії матеріалу, формування першого шару або друку складних траєкторій, унаслідок чого значна частина виробів виявляється дефектною. У зв'язку з цим упродовж останніх років спостерігається чітка тенденція до впровадження замкнених систем контролю якості, що інтегрують сенсорні засоби, алгоритми аналізу даних та елементи автоматичного або напівавтоматичного керування, структурна організація яких і принцип взаємодії основних функціональних модулів узагальнено подані у вигляді блок-схеми 3D-друку із замкнутим циклом на основі штучного інтелекту, наведеної на рис. 1 [1].

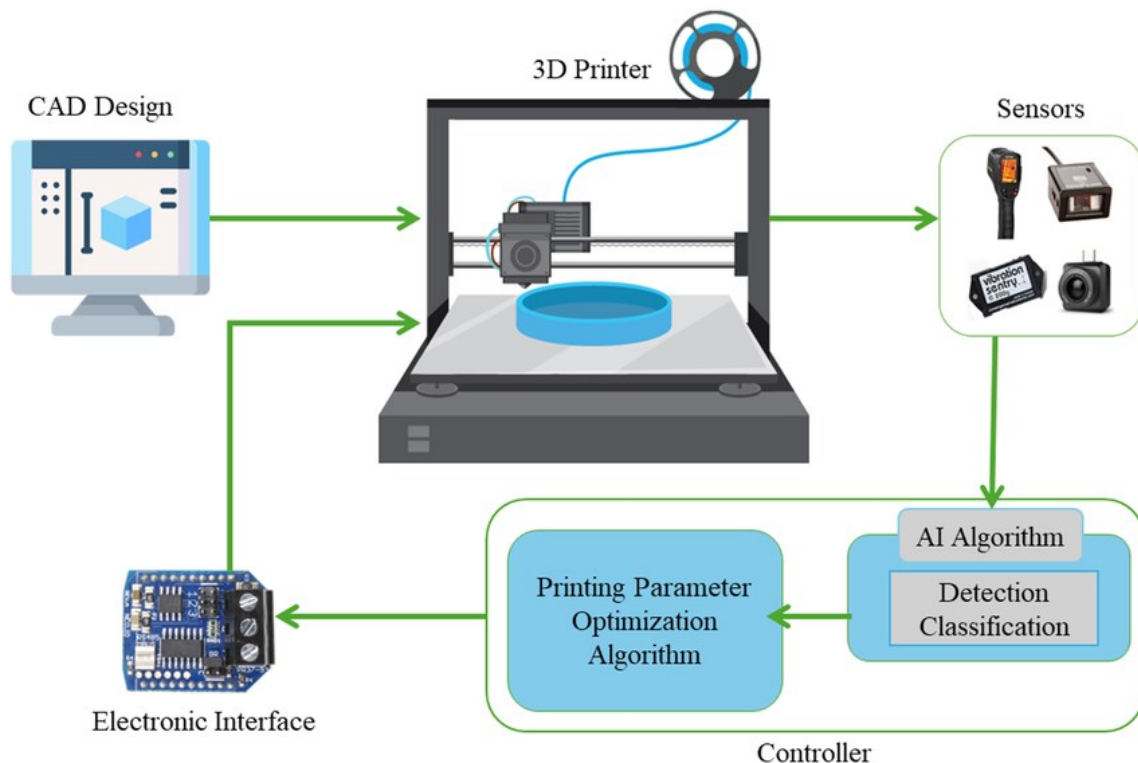


Рис.1. Блок-схема 3D-друку із замкнутим циклом на основі штучного інтелекту

Сучасні комерційні FDM-принтери останнього покоління вже реалізують низку концепцій замкненого контролю, що раніше були притаманні лише експериментальним або лабораторним установкам. Порівняльний аналіз таких рішень дозволяє оцінити поточний рівень розвитку технологій in-situ моніторингу та визначити напрями їх подальшого

вдосконалення. Характерними прикладами є високошвидкісний принтер Bambu Lab X1-Carbon, модель Creality K1 Max, а також програмно-апаратна платформа Obico, які реалізують різні підходи до замикання контуру контролю якості.

Принтер Bambu Lab X1-Carbon є прикладом глибоко інтегрованої системи контролю, у якій поєднуються апаратні сенсорні засоби та програмні алгоритми аналізу даних у реальному часі. Використання вбудованої камери разом зі спеціалізованим процесором для виконання алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє автоматично виявляти характерні дефекти процесу друку, зокрема утворення «спагеті», що свідчить про втрату адгезії або відрив нитки (рис.2) [2]. У разі підтвердження дефекту на послідовності кадрів система самостійно призупиняє друк, запобігаючи подальшому браку та перевитраті матеріалу. Такий механізм реалізує замкнений контур контролю на рівні катастрофічних відмов, у якому рішення приймається без участі оператора.

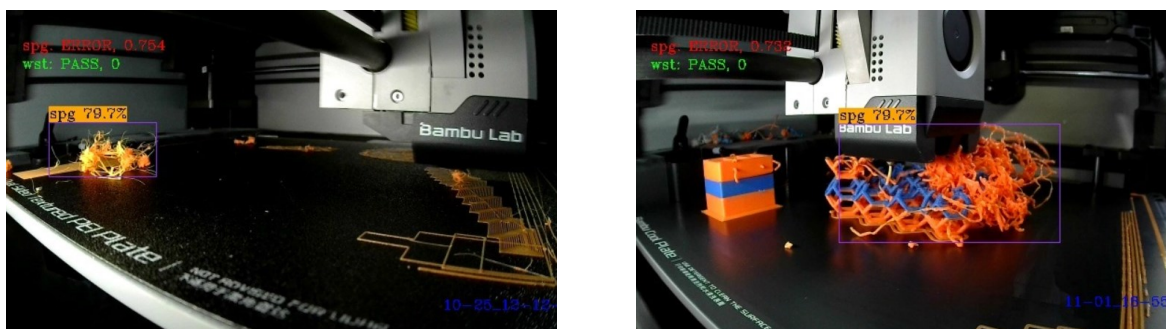


Рис.2. Виявлення спагеті безпосередньо всередині принтера за допомогою вбудованої камери [2]

Важливим елементом системи контролю якості X1-Carbon є застосування Мікро LiDAR для сканування платформи та першого шару з мікрометровою точністю (рис.3). Аналіз геометрії першого шару дозволяє системі виявляти локальні відхилення висоти або ширини екструдованої доріжки та автоматично коригувати положення сопла або подачу матеріалу. Таким чином реалізується замкнений контур якості на критичному етапі друку, від якого залежить успішність усього процесу. Додаткове використання акселерометрів для калібрування механіки та зменшення резонансних коливань перед друком також опосередковано підвищує якість поверхонь і геометричну точність виробів. У сукупності ці рішення формують високий рівень автономності та мінімізують вплив людського фактору, хоча водночас залишаються обмеженими пропрітарністю алгоритмів і закритістю екосистеми.

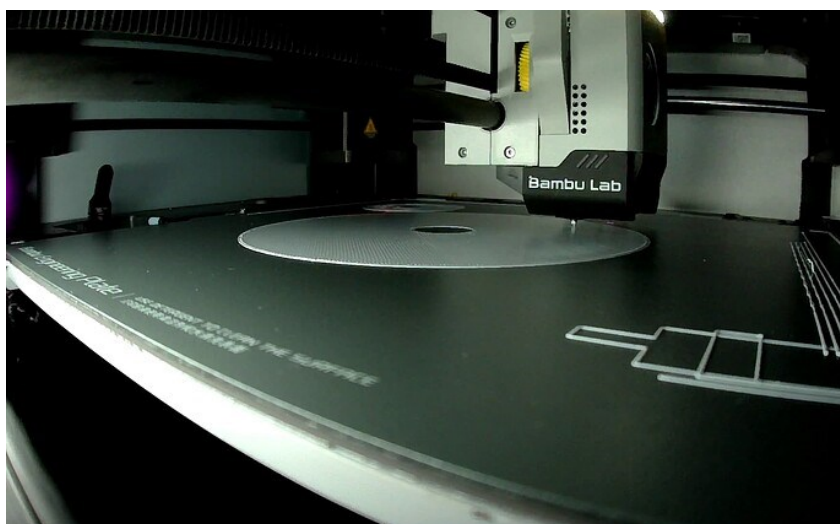


Рис.3. Сканування першого шару за допомогою Мікро LiDAR та автоматична корекція параметрів друку в принтері Bambu Lab X1-Carbon [3]

Інший підхід до реалізації замкненого контролю якості демонструє принтер Creality K1 Max, який поєднує лазерний LiDAR для аналізу першого шару та AI-камеру для виявлення дефектів у процесі друку (рис.4) [4]. На відміну від повністю автоматизованої корекції параметрів, система K1 Max переважно працює у режимі виявлення та сповіщення. У разі фіксації проблем із першим шаром або появи характерних збоїв друк зупиняється, а користувач отримує повідомлення для подальшого втручання. Такий підхід зменшує ризик хибних автоматичних корекцій і підвищує надійність процесу за рахунок залучення оператора до прийняття рішень. Водночас навіть часткова автоматизація, зокрема автокалібрування перед друком, істотно знижує кількість невдалих запусків і підвищує загальну стабільність роботи обладнання.



Рис.4. Контроль першого шару за допомогою лазерного LiDAR та виявлення дефектів процесу FDM-друку з використанням AI-камери в принтері Creality K1 Max

Важливою особливістю K1 Max є відносна відкритість програмної платформи, що дозволяє користувачам застосовувати альтернативні прошивки та експериментувати з власними алгоритмами керування. Це створює передумови для подальшого розвитку напівавтоматичних систем контролю якості, у яких поєднуються базові фірмові засоби моніторингу та користувацькі модулі аналізу даних.

Програмна платформа Obico репрезентує принципово інший підхід до реалізації замкненого контуру якості, орієнтований на універсальність і незалежність від конкретного обладнання (рис.5). Використання зовнішньої камери та хмарних обчислень дозволяє інтегрувати інтелектуальний контроль практично з будь-яким FDM-принтером. Алгоритми комп'ютерного зору спеціалізуються на виявленні характерних аварійних режимів друку, зокрема утворення «спагеті», після чого система автоматично зупиняє процес або сповіщає користувача. У цьому випадку замкнений контур реалізується за принципом «людина в контурі», коли остаточне рішення щодо продовження або зупинки друку приймається оператором.

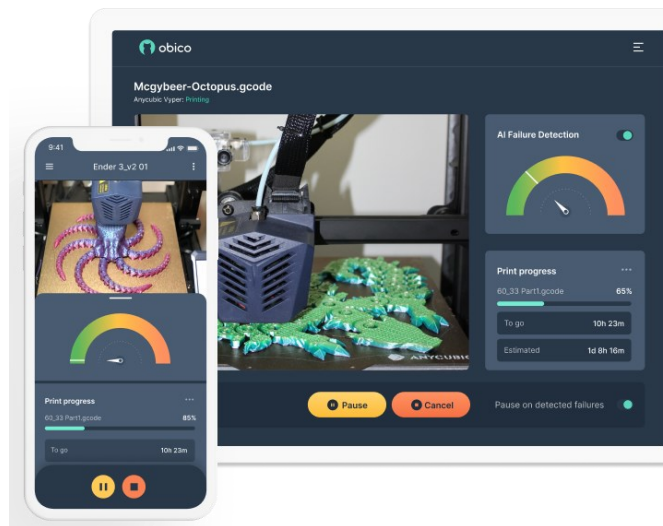


Рис.5. Виявлення дефекту типу «spaghetti» у процесі FDM 3D-друку з використанням платформи Obico та реалізація замкненого контуру за принципом «людина в контурі»

Подальший розвиток платформи Obico, зокрема впровадження модуля аналізу першого шару Nozzle Ninja, свідчить про поступове розширення функціональності від простого виявлення відмов до оцінювання якості укладання матеріалу. Формування детальних звітів із рекомендаціями щодо налаштувань створює основу для напівавтоматичного замикання контуру якості, у якому користувач отримує не лише сигнал про проблему, але й конкретні підказки щодо її усунення.

Аналіз наведених прикладів свідчить, що сучасні комерційні рішення вже активно використовують елементи замкнених систем контролю якості FDM-друку, передусім на рівні першого шару та виявлення катастрофічних дефектів. Повна автоматична корекція параметрів поки що реалізується обмежено, що зумовлено вимогами безпеки, ризиком хибних спрацьовувань та необхідністю збереження довіри користувачів до системи. Водночас експериментальні та дослідницькі розробки демонструють технічну можливість повністю автоматизованого керування якістю за умови використання адекватних математичних моделей, достовірних сенсорних даних і розвинених алгоритмів аналізу.

Висновок.

Подальший розвиток штучного інтелекту, накопичення великих масивів даних про відмови та дефекти, а також інтеграція фізично обґрунтованих моделей процесу друку дозволять майбутнім поколінням FDM-принтерів реалізувати повноцінні замкнені системи контролю якості з автоматичною адаптацією параметрів у реальному часі. Це сприятиме переходу адитивного виробництва на новий рівень надійності та прогнозованості й наблизить FDM 3D-друк до стандартів промислових технологій.

Перелік джерел посилань

1. A. R. Sani, A. Zolfagharian, A. Z. Kouzani. Artificial Intelligence-Augmented Additive Manufacturing: Insights on Closed-Loop 3D Printing. *Advanced Intelligent Systems*. 2024, 6.
2. Spaghetti Detection [Electronic resource]. – Access mode: https://wiki.bambulab.com/en/knowledge-sharing/Spaghetti_detection?utm_source=chatgpt.com.
3. Problem with first layer inspection [Electronic resource]. – Access mode: <https://forum.bambulab.com/t/problem-with-first-layer-inspection/8588>.
4. Creality K1 Max 3D Printer [Electronic resource]. – Access mode: https://www.amazon.co.uk/Creality-Capacity-Hands-Free-Automatic-Levelling/dp/B0CGH9P2Q1?utm_source=chatgpt.com.
5. Your 3D Printer is Dumb. Make it Smart [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.obico.io/>.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОБУТОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ ЧАСТКОВОГО ЗАТІНЕННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ОПТИМІЗАТОРІВ ПОТУЖНОСТІ

Скиба М.
Нестерук С.
Лісевич С.

Хмельницький національний університет

Розвиток побутової фотоелектричної енергетики є важливою складовою переходу до децентралізованих і відновлюваних джерел енергії. Сонячні електростанції дедалі частіше використовуються у приватних домогосподарствах для зменшення споживання електроенергії з мережі та підвищення енергетичної незалежності. Проте реальні умови експлуатації таких систем суттєво відрізняються від ідеалізованих, що негативно впливає на їх продуктивність.

Однією з найбільш поширених проблем є часткове затінення фотоелектричних модулів, яке виникає через наявність дерев, димарів, сусідніх будівель, елементів покрівлі тощо. Навіть короткочасне або локальне затінення окремих модулів може призводити до значних втрат виробітку всієї системи. На прикладі сонячної електростанції потужністю 10 кВт, що встановлена у с.Смільно Львівської області виконано аналіз роботи системи і виявлено елементи сонячної електростанції, які частково затінені. Сонячна електростанція у своєму складі має два стрінга, які розміщені на альтанці і на гаражі домоволодіння (рис.1, рис. 2, рис.3).



Рис. 1 Розміщення сонячних панелей стрінга 1 на альтанці



Рис. 2 Розміщення затієних сонячних панелей стрінга 1 на гаражі



Рис.3 Розміщення сонячних панелей стрінга 2 на гаражі

У зв'язку з цим актуальним є пошук технічних рішень, здатних мінімізувати втрати енергії та підвищити ефективність роботи побутових СЕС.

Фотоелектричні модулі у побутових СЕС зазвичай з'єднуються у стрінги послідовно, що зумовлює залежність роботи всієї гілки від характеристик кожного окремого модуля. У разі затінення навіть невеликої частини одного модуля відбувається зменшення струму у всьому стрінгу, активація байпасних діодів і зниження загальної потужності.

Практичні спостереження показують, що в умовах часткового затінення втрати електроенергії можуть досягати 20–50 % і більше, особливо у ранкові та вечірні години. Це істотно знижує економічну ефективність побутових СЕС і збільшує строк їх окупності.

Одним із сучасних технічних рішень для підвищення ефективності фотоелектричних систем в умовах нерівномірної інсоляції є використання оптимізаторів потужності. Ці пристрої встановлюються безпосередньо на кожен фотоелектричний модуль і забезпечують індивідуальне відстеження точки максимальної потужності (MPPT) для кожного елемента системи.

На відміну від традиційної схеми, де МРРТ реалізується на рівні інвертора для всього стрінгу, оптимізатори дозволяють кожному модулю працювати незалежно від стану інших. Це особливо важливо в умовах часткового затінення, коли модулі перебувають у різних умовах освітлення.

До основних переваг використання оптимізаторів потужності належать:

- зменшення втрат потужності при локальному затіненні;
- підвищення загального енерговиробітку системи;
- можливість детального моніторингу роботи кожного модуля;
- покращення експлуатаційної надійності та пожежної безпеки.

Для оцінки ефективності впровадження оптимізаторів потужності було проаналізовано роботу побутової сонячної електростанції, де частина модулів зазнає періодичного затінення.

Використовуючи засоби телеметрії та програмне забезпечення, було опрацьовано показники генерації електроенергії СЕС та проведено порівняльний аналіз виробітку електроенергії за п'ять днів липня 2025 року у двох режимах:

- стандартна робота СЕС без оптимізаторів;
- робота СЕС із використанням оптимізаторів потужності.

Опрацьовані результати показано у таблиці 1 та на рисунку 4.

Таблиця 1 - Підсумкова добова генерація СЕС 10 кВт (липень 2025)

Дата	Добова генерація без оптимізатора, кВт·год	Добова генерація з оптимізатором, кВт·год	Приріст, %
03.07.2025	7,21	9,37	29,96
07.07.2025	4,84	6,29	29,96
15.07.2025	6,88	8,94	29,94
22.07.2025	4,48	5,83	30,13
29.07.2025	6,25	8,13	30,08

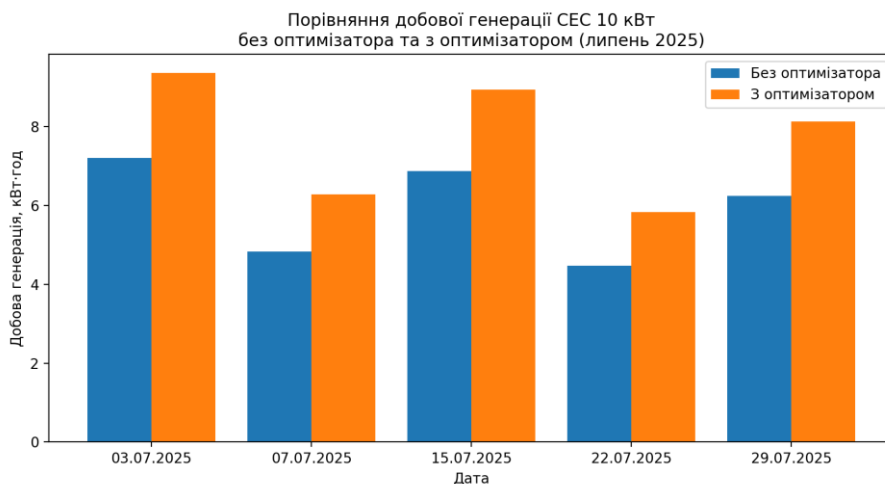


Рис.4. Порівняльна добова генерація СЕС на 10кВт (липень 2025)

Отримані дані показали, що після впровадження оптимізаторів середній добовий виробіток електроенергії зріс приблизно на 30 %.

Окрім енергетичного ефекту, зростання генерації позитивно впливає на економічні

показники системи, зменшуючи строк окупності додаткового обладнання.

Висновок

Часткове затінення є одним із ключових факторів, що обмежує ефективність побутових сонячних електростанцій у реальних умовах експлуатації. Застосування оптимізаторів потужності дозволяє суттєво зменшити втрати електроенергії та підвищити загальний енерговирібок системи.

Практичні результати показали зростання середнього добового виробітку приблизно на 30 %, що підтверджує технічну доцільність використання оптимізаторів у побутових СЕС зі складними умовами освітлення. Запропонований підхід може бути рекомендований для проектування та модернізації сонячних електростанцій у житловій забудові, де повністю уникнути затінення є неможливо.

Перелік джерел посилань

1. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та елек-тротехніка» / О.С. Поліщук, М.Є. Скиба, С.П. Лісевич, А.О. Поліщук, С.В. Каретний, О.В. Вишинський. – Хмельницький: ХНУ, 2022. – 185 с.
2. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії - Київ, 2009. 201 с.
3. Каталог оптимізаторів E-energy «Оптимізатори потужності для сонячних панелей». Код доступу: e-energy.in.ua.

APPLICATION OF MOLDEX3D FOR ANALYZING THE FLOW OF A VISCOUS POLYMER MELT IN THE FORMING OF SHOE SOLES

O. Polishchuk
O. Kuntsov
A. Polishchuk
M. Zahurovskiy
O. Maliarchuk

Khmelnytskyi National University

Modern technologies for manufacturing footwear bottom components are mainly based on injection molding of polymer materials, which ensures high productivity, stable repeatability of geometric parameters, and the possibility of forming complex three-dimensional sole reliefs while meeting ergonomic and design requirements. Injection molding makes it possible to implement a wide range of structural solutions, including variable element thickness, the presence of tread zones, damping structures, and locally reinforced areas, which directly affect the functional performance of footwear. At the same time, the continuous increase in requirements for product quality and durability, particularly wear resistance, dimensional stability, uniformity of mechanical properties, and surface appearance, necessitates in-depth analysis and precise control of the parameters governing the filling of the mold cavity.

Industrial practice shows that even minor deviations in injection molding processing conditions or design flaws in the runner system can lead to characteristic defects in polymer shoe soles. Such defects include incomplete mold filling, the formation of weld lines in flow-front convergence zones, local or non-uniform shrinkage, residual internal stresses, and warpage of the finished product. These phenomena are especially critical for thin-walled regions of the sole and areas with complex geometry, where the rheological behavior of the polymer melt becomes significantly more complicated. Failure to account for the temperature dependence of viscosity, the influence of shear rate, or the conditions of heat transfer from the mold walls results in reduced process stability and an increased defect rate.

In this context, the use of modern computer-aided engineering (CAE) systems becomes particularly relevant, as they enable numerical simulation of injection molding processes at the early stages of product and mold design. The application of CAE approaches allows a transition from traditional empirical selection of processing parameters to physically justified prediction of process behavior based on the laws of continuum mechanics, heat transfer, and polymer rheology. One of the most widely used and functionally advanced systems of this type is the Moldex3D software package, which is focused on analyzing the flow of non-Newtonian polymer melts in molds with complex geometry, taking into account thermal, rheological, and hydrodynamic factors.

The use of Moldex3D enables detailed investigation of all main stages of the injection molding process, including injection, filling, packing, and cooling, as well as analysis of the relationships between process parameters and the final properties of the product. As a result, it becomes possible to significantly reduce the number of physical experiments, decrease material and time costs associated with production setup, and improve the reliability of engineering decisions.

This work considers the application of Moldex3D for analyzing the filling parameters of the mold cavity used to manufacture a shoe sole made of a viscous polymer material. The object of the study is a three-dimensional sole geometry with a typical thickness of 3–5 mm, incorporating tread elements and regions with variable thickness that create complex melt flow conditions. At the preprocessing stage, a CAD model of the product was created, imported into the Moldex3D environment, and geometrically prepared to eliminate surface defects, gaps, and small features that could adversely affect mesh generation and the stability of the numerical solution.

For the numerical analysis, a shell-type finite element model was employed with local mesh refinement in zones of abrupt thickness variation and near the runner and gate regions. This approach provides a rational compromise between modeling accuracy and computational cost, which is essential for the practical use of CAE simulations in industrial applications. The rheological properties of the polymer melt were described using a generalized non-Newtonian model that accounts for the dependence of viscosity on temperature and shear rate. The thermophysical properties of the material and the main injection molding process parameters, including melt temperature, mold temperature, injection pressure, and filling time, were specified according to reference data and literature sources [1].

The main focus of the study was placed on analyzing the simulation results for the mold filling stage, as this stage largely determines the quality of the finished product. The obtained velocity vector distribution maps made it possible to identify zones of accelerated and decelerated flow formed as a result of the complex sole geometry and the interaction of the melt with the cold mold walls. It was established that maximum flow velocities are characteristic of regions near the runner and gate areas and narrow cross-sections, whereas in the central and more massive zones of the sole the flow velocity decreases significantly, which may affect filling uniformity and the formation of the internal structure of the product.

Analysis of the frozen layer fraction, expressed by the Frozen Layer Ratio parameter, showed that intensive formation of the solidified layer occurs primarily in thin-walled regions and near mold surfaces with increased heat transfer intensity. Excessive growth of this parameter at early stages of the process creates a risk of premature flow blockage and the occurrence of local short shots. At the same time, the molten core map makes it possible to estimate the volume of the liquid phase within the sole thickness at the end of the filling stage, which is an important indicator for effective implementation of the packing stage and compensation of shrinkage during subsequent cooling.

Special attention was paid to the analysis of shear rate intensity, since excessive shear loading can lead to local overheating of the melt, degradation of polymer chains, and deterioration of the mechanical properties of the finished product. Numerical simulation results indicate that peak shear rate values are concentrated in regions with abrupt changes in flow direction and near the gate areas, which must be taken into account when selecting molding conditions and designing the runner system. The spatial distribution of polymer melt viscosity within the mold cavity confirms the typical thermoplastic behavior of viscosity decreasing with the increasing temperature and shear rate, and also reveals transitional zones of sharp viscosity variation that may coincide with areas prone to weld line formation or premature freezing of the flow front.

The obtained numerical simulation results make it possible to identify potential risk zones for molding defects already at the digital design stage, creating prerequisites for preliminary optimization of process parameters. In particular, this applies to the selection of melt temperature, filling time, injection pressure profile, and runner system configuration without the need to manufacture experimental molds. Thus, Moldex3D can be regarded as an effective “digital laboratory” tool that ensures the integration of CAE simulation into the full cycle of development and improvement of polymer shoe sole molding technologies.

Overall, the results of the study confirm the feasibility of wide implementation of numerical simulation of injection molding processes in the practice of designing products for the light industry, as this contributes to improved product quality, reduced material costs, shorter production preparation times, and increased competitiveness of finished products.

References

1. Syniuk O., Polishchuk O., Kuntsov O. Modeliuvannya protsesu zapovnennia viazkoiu ridynoiu porozhnyny pres-formy dlia lyttia detalei vzuttia // *Visnyk KhNU*. – 2024. – № 3, T. 1. – S. 472–479.

ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРЕСА З МАХОВИКОМ

Сергєєв В. В.
Кармаліта А. К.

Хмельницький національний університет

За останні роки у більшості економічно розвинених країн чітко простежується тенденція до активного впровадження енергоощадних технологій. Енергетичний фактор посідає провідне місце у розвитку промислового виробництва, зокрема підприємств легкої промисловості, де технологічні процеси значною мірою залежать від ефективності роботи обладнання. У зв'язку з цим діяльність виробників промислових машин дедалі більше спрямована на їх модернізацію, а також на створення нового, більш економічного та технологічно досконалого устаткування.

У нашому дослідженні розглянуто принципи застосування частотно-регульованих електроприводів у гідравлічних системах пресового обладнання. Проаналізовано вплив регульованої частоти обертання електродвигуна на енергоефективність, стабільність тиску, динаміку руху виконавчих механізмів та ресурс гідравлічних компонентів. Наведено основні технічні рішення та очікуваний економічний ефект від упровадження частотного керування у легкій промисловості.

Метою нашого дослідження є підвищення ефективності роботи гідроприводу преса шляхом застосування частотно-регульованого електроприводу, який забезпечує оптимізацію тиску та подачі гідравлічної рідини залежно від технологічної операції.

Електрогідравлічні преси широко використовуються для вирубки, формування та пресування матеріалів у взуттєвій, швейній, меблевій та поліграфічній галузях. Традиційні гідравлічні приводи працюють з постійною швидкістю обертання насосів, що призводить до надлишкового енергоспоживання, перегрівання робочої рідини та зниження надійності обладнання. Використання частотного регулювання дає змогу адаптувати параметри приводу до реального навантаження, мінімізуючи втрати та покращуючи керованість процесу [1].

На схемі зображено структурну модель частотно-регульованого приводу гідравлічного преса з маховиком. Заданий тиск $P_{ref}(t)$ надходить на суматор, де порівнюється з вимірним тиском від датчика. Похибка керування подається на ПД-регулятор, який формує сигнал керування частотою для частотного перетворювача. Частотний перетворювач керує асинхронним двигуном з маховиком, який через вал обертає гідравлічний насос. Насос подає робочу рідину в гідролінію, що живить гідроциліндр преса. Рух повзуна з прикладеним технологічним навантаженням формується у гідроциліндрі, а тиск у лінії вимірюється датчиком і повертається як сигнал зворотного зв'язку до суматора.

Досліджено, що перевагами частотного керування приводом гідравлічних пресів є:

1) *енергоефективність*. Це означає, що частотний перетворювач (ЧП) знижує швидкість обертання двигуна при неповному навантаженні і у режимах холостого ходу енергоспоживання зменшується на 30–60%, залежно від характеру циклу. Менше тепловиділення → менші втрати на охолодження та підвищений ресурс мастильних матеріалів [2].

2) *стабілізація тиску та плавність руху*. Внаслідок цього регулювання оборотів насоса дозволяє формувати тиск пропорційно навантаженню. Також усуваються пікові перевантаження, характерні для систем із дроселюванням потоку і доступна плавна зміна швидкості ходу повзуна, що є важливим при точному вирубванні або калібруванні матеріалу.

3) *Зменшення шуму та вібрацій*. На низьких швидкостях насос працює значно тихіше. Зниження вібрації подовжує ресурс прокладок, ущільнень, клапанів і підшипників.

4) *Збільшення ресурсу гідросистеми*. Менше механічних ударів у перехідних режимах.

Зменшення температури робочої рідини на 10–20 °С продовжує термін її роботи у 1,5–2 рази. Клапани та насоси працюють у менш навантаженому режимі [3].

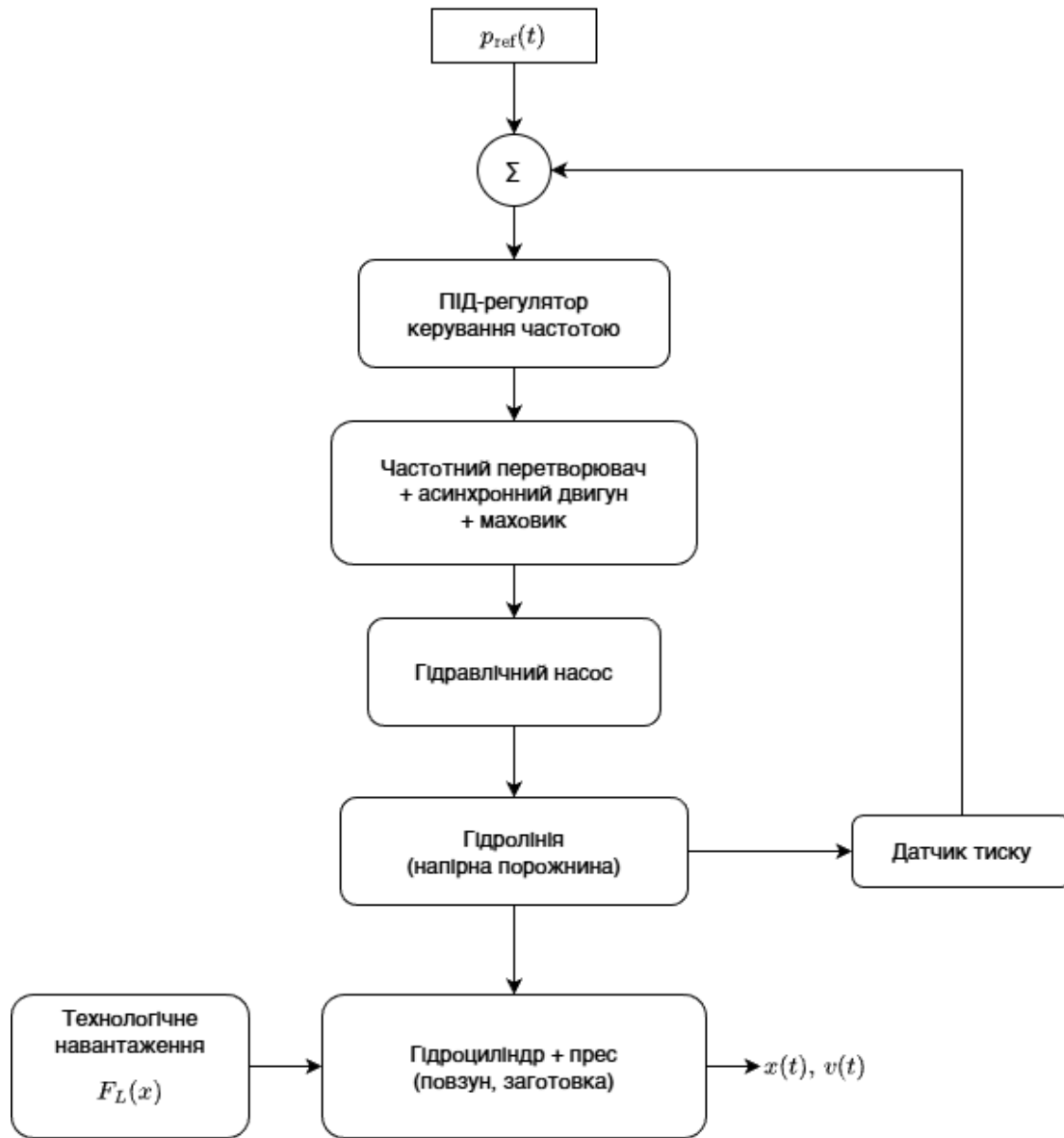


Рис.1. Структурна схема частотного керування приводом гідравлічного преса з маховиком

У модернізованій системі електродвигун насоса під'єднується до частотного перетворювача, який отримує сигнали від: датчика тиску, датчика температури та контролера ПЛК [4].

Алгоритм керування формує необхідну частоту обертання залежно від етапу робочого циклу преса.

- 1) PID-регулювання тиску - підтримання стабільного тиску в системі незалежно від зміни навантаження.
- 2) Режим енергозбереження - автоматичне зниження обертів при простої.
- 3) Режим прискореного розгону - швидкий початковий хід для скорочення циклу пресування.

М'який пуск та зупинка, що зменшує струмові удари.

Система може використовуватися як зі звичайними напрямними клапанами, так і з пропорційними та сервоклапанами, забезпечуючи високу точність керування витратою.

Нижче наведено показники економічного та технологічного ефекту:

Показник	Очікуване покращення
Енергоспоживання	↓ на 30–60%
Температура гідрорідини	↓ на 10–20 °С
Ресурс насосів та клапанів	↑ на 20–40%
Шумність обладнання	↓ на 5–10 дБ
Продуктивність циклу	↑ на 5–15%

Отже, можна зробити такі висновки, що застосування частотного керування приводом електрогідравлічних пресів є ефективним технічним рішенням для легкого промислового обладнання. Частотно-регульований привід дозволяє суттєво знизити енергоспоживання, забезпечити точне регулювання тиску, зменшити теплові та механічні навантаження і збільшити надійність гідросистеми. Упровадження такої модернізації є економічно виправданим і здатне підвищити технічний рівень виробництва.

Перелік джерел посилань

1. Гнідий М.М., Кравець І.В. Вдосконалення систем керування гідроприводами пресів. Вісник технічних наук, 2021.
2. Попов С.Ю. *Електрогідравлічні системи промислового обладнання*. – Київ: Техніка, 2020. – 312 с.
3. Zhang H., Li P. Variable-Speed Pump-Controlled Hydraulic Systems: Energy Saving Technologies. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2021.
4. Pettersson M., Karlsson L. Energy Optimization of Hydraulic Press Drives Using Frequency Converters. *Procedia Manufacturing*, 2022.
5. Siemens AG. *Application Guide: Variable Frequency Drives in Hydraulic Systems*, 2020.
6. Bosch Rexroth. *Drive-controlled pump systems for presses and forming machines*, 2021

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТРІЧКОВОЇ РОЗКРІЙНОЇ МАШИНИ

Клімко О.С.
 Неймак В. С.
 Романець Т.П.

Хмельницький національний університет

В швейній промисловості використовується декілька типів стаціонарних розкрійних стрічкових машин: трьохшківна стрічкова машина РЛ-2 і чотирьохшківні машини РЛ-3, РЛ-4 і РЛ-5. Ці машини призначені для вирізання деталей із частин настилу, передчасно розрізаного пересувними розкрійними машинами. Двошківна машина має в порівнянні з трьохшківною невеликий виліт. Двошківна розкрійно-стрічкова машина ЗЛ-ШВ-1 в теперішній час заводами не випускається, так як із-за великої маси (1200 кг) її необхідно монтувати на спеціальний фундамент.

Розкрійні машини використовують у випадку, коли необхідно отримати чистовий розкрій матеріалу. Залежно від призначення ці машини мають конструктивні відмінності, проте принцип розкрою у всіх машинах однаковий. Розкрій виконується за рахунок руху ножа.

Мета виконання розробки конструкції – покращення якості розкрою, і як наслідок підвищиться якість швейних виробів. Винахід відноситься до швейного виробництва, а саме до способів і пристроїв, призначених для чистового розкрою деталей одягу і може бути використано, наприклад, при індивідуальному пошиві одягу.

Розроблено конструкцію розкрійної стрічкової машини (рис.1). Відмінною особливістю розробляємої машини є частотний привод, а також заміна уретруючого пристрою на натяжний пристрій. В результаті роботи машини можливо змінювати швидкість стрічки, що зменшує її нагрівання. При цьому край зрізу матеріалу не заплавляється.

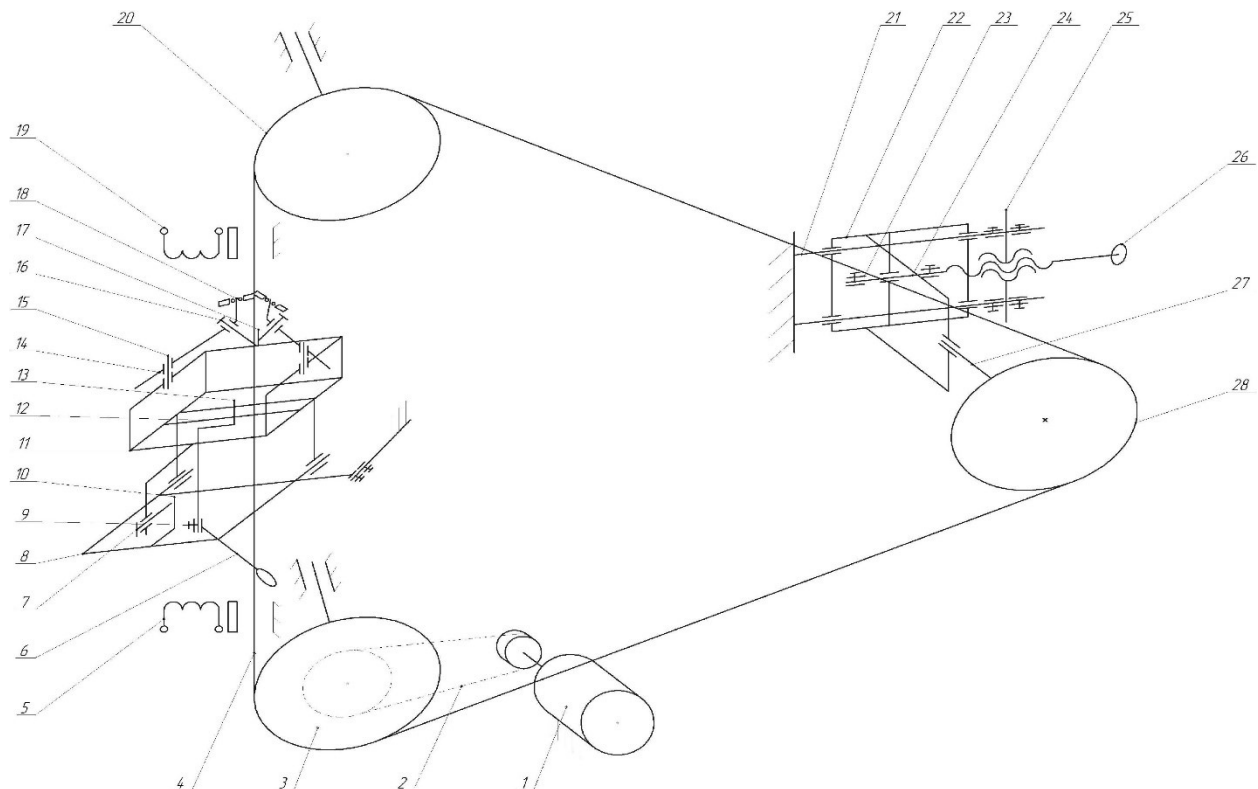


Рис. 1. Кінематична схема розкрійної машини

Частини крою вкладаються на стіл і робітниця в відповідності із розміткою переміщає їх на рухомий стрічковий ніж 4, викроюючи стопки деталей потрібної конфігурації.

Привод машини здійснюється від електродвигуна 1 через один із трьох стрічкононаправляючих шківів. На шківах 3, 20, 28, прогумованих по ободу, натягнутий стрічковий ніж 4. Клиновий пас 2 передає рух стрічкононаправляючому шківу 3.

Натяжний і стрічковловлюючий пристрій виконані на боковому стрічко-направляючому шківах 28 і 3, який встановлений на рухомій каретці 22 в направляючих 21. Зусилля натягу ножа створюється маховичком 26 через гвинт 24, гайками 23.

Стрічковловлюючий пристрій вміщує верхній і нижній електромагнітні стрічковловлювачі 5 і 19 і світлодіодний вмикач. При обриванні стрічкового ножа світлодіодний вмикач передає сигнал на модуль, який включає електромагнітні стрічковловлювачі 5 і 19.

Арретруючий пристрій, що дозволяє зменшувати натяг стрічки на 160-200 Н в неробочій машині, значно підвищує довговічність ножа.

Проведено огляд існуючих технічних пропозицій та конструкцій розкрійної стрічкової машини. На основі проведеного огляду запропоновано розробити конструкцію стрічкової розкрійної машини.

Змінено варіаторний механізм, що використовується в якості коробки швидкостей, на частотний привод. Застосування частотного привода забезпечує більш плавне та точне регулювання швидкості стрічки.

Також з метою розширення технологічних можливостей запропоновано безконтактний пристрій для забезпечення неушкодженості оператора.

Проведено розрахунки приводного вала на згин, що підтвердили можливість використання даного вала. Також в записці наведені розрахунки двигуна, клиновидного паса та підшипників.

Результати роботи планується використовувати в подальшому для запуску запропонованих машин в серійне виробництво.

Перелік джерел посилань

1. Обладнання для розкрою матеріалів : підручник / за ред. В. І. Соколовського. – Київ : Вища школа, 2010. – 420 с.
2. Технологічне обладнання швейного виробництва : підручник / Н. М. Ткачук, О. О. Левченко. – Київ : Кондор, 2012. – 368 с. (містить розділи з розкрійних машин і автоматів)
3. Машини та апарати легкої промисловості : підручник / В. П. Коваль, І. С. Козак. – Львів : Новий Світ–2000, 2011. – 452 с.
4. Обладнання та процеси механічної обробки матеріалів : навчальний посібник / О. М. Бондаренко. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – 390 с.
5. Автоматизоване технологічне обладнання : навчальний посібник / С. М. Кожухар. – Київ : НТУУ «КП», 2016. – 312 с.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУТОВОЇ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Старичук В.В.

Неймак В. С.

Романець Т.П.

Хмельницький національний університет

Ситуацію, яку можна спостерігати сьогодні, можна охарактеризувати з точністю на-впаки: український ринок наповнений великою кількістю пральних машин і сушильних апаратів самих різних виробників і цін. На українсь-кому ринку представлені пральні ма-шини Ariston і Indesit (торгові марки концерну Merloni, Італія), італійські CANDY і Ardo, німецькі Bosch, Siemens, Kaiser, AEG, а також Miele (техніка цієї фірми відноситься до най-вищого класу). Також представлена продукція шведського концерну Electrolux (тор-гові марки Electrolux і Zanussi), американського Whirlpool, турецького Beko, корейського LG і Samsung, словенські Gorenje, іспанські Fagor. Час від часу появляються повідомлення про продаж вітчизняних пральних автоматів «Норд» і китайських Haier.

Глобалізація світової економіки привела до того, що країна-виробник і місце знахо-дження заводу не співпадає. Так, штаб-квартира концерну Electrolux розмішена в Швейцарії, проте заводи по виготовленню пральних машин – в Італії, Іспанії, Франції і Польщі.

Основними характеристиками будь-якої пральної машини є: габаритні розміри, мак-симальна маса завантаження, тип завантаження, швидкість віджимання, клас прання, клас ві-джимання, клас енергоспоживання, матеріал з якого виготовлено бак пральної машини.

Задачею досліджень було покращити демпфуючі властивості пральних машин типу ПМА шляхом зміни конструкції їх пружної підвіски .

На основі аналізу існуючих схем та пристроїв для гасіння коливань, а також здійс-неного патентного пошуку було запропоновано конструкцію підвіски прального бака, що містить два гідравлічні [2] та два пружинні демпфери [5] демпфери. Розробка конструкції демпферів виконана з врахуванням можливості їх встановлення на існуючих пральних ма-шинах при капітальному ремонті, що дозволить підвищити частоту обертання барабана при віджиманні та плавність руху робочих органів.

В розрахунковій частині проведено розрахунок гідравлічного та пружинного демп-фера для модернізованої пральної машини.

Головна перевага ПМА-6 перед закордонними ПМ – це простий механізм роботи. Будь-яку деталь, що вийшла з ладу, можна самому швидко й недорого відремонтувати. Ім-портні зразки йдуть у ногу з часом і тому комплектуються всякого роду цифровими прист-роями, які не підлягають ремонту (при поломці заміняють весь блок), дуже дорого кошту-ють і їх не легко знайти. Проте через простоту механіки іномарки багато в чому обганяють по якості прання й інших параметрів.

Перелік джерел посилань

1. Пат. 43795 Україна, МПК D06F 37/00. Пральна машина : корисна модель / І. О. Мельник ; заявник і патентовласник – [назва організації або особи]. – № u202012345 ; заявл. 02.11.2020 ; опубл. 10.03.2021, Бюл. № 10.
2. Пат. 90231 Україна, МПК D06F 33/02. Барабанна пральна машина з підвищеною ефективністю прання : корисна модель / О. С. Бойко ; заявник і па-тентовласник – [назва організації або особи]. – № u201401234 ; заявл. 20.01.2014 ; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9.
3. Пат. 101245 Україна, МПК D06F 39/04. Пристрій керування режимами роботи пральної машини : корисна модель / А. М. Гринь ; заявник і патентовла-сник – [назва організації або особи]. – № u201507654 ; заявл. 05.02.2015 ; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.
4. Пат. 112378 Україна, МПК D06F 34/00. Вузол балансування барабана пральної машини : корисна модель / Р. В. Шевчук ; заявник і патентовласник – [назва організації або особи]. – № u201612345 ; заявл. 10.06.2016 ; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23.
5. Сич Є. С. Удосконалення барабанної пральної машини за рахунок по-кращення підвіски / Є. С. Сич, І. В. Петко // Мехатроніка, комп'ютерна інжене-рія та метрологія. – 2018. – Вип. 3.– Режим доступу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/9882/1/td_2018_N3_15.pdf

РОЗРОБКА ПОБУТОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Шевчук В.Т.
Неймак В. С.
Романець Т.П.

Хмельницький національний університет

Зростання світового попиту на енергію та проблеми дефіциту і впливу на навколишнє середовище, які пов'язані зі звичайними джерелами енергії, лежать в основі дуже ймовірної енергетичної кризи в найближчі два-три десятиліття.

Нафта стає дедалі дорожчою та дефіцитною, тоді як кліматичні наслідки масового використання всього викопного палива відчуються все більше і більше. Водночас нинішні ядерні установки досягають кінця свого терміну корисного використання. І незрозуміло, особливо в Європі, чи енергію, яку вони припинять постачати, після зупинки, будуть постачати нові атомні електростанції.

Фотоелектричні перетворювачі володіють значними потенційними перевагами:

- не мають частин які рухаються, що значно знижує вартість обслуговування;
- термін служби буде досягати 100 років при незначному зниженні експлуатаційних характеристик (проблема не в самих перетворювачах, а в герметизуючих матеріалах);
- не потребують високої кваліфікації персоналу;
- ефективно використовують як пряме так і розсіяне (дифузійне) випромінювання;
- придатні для створення установок практично будь-якої потужності.

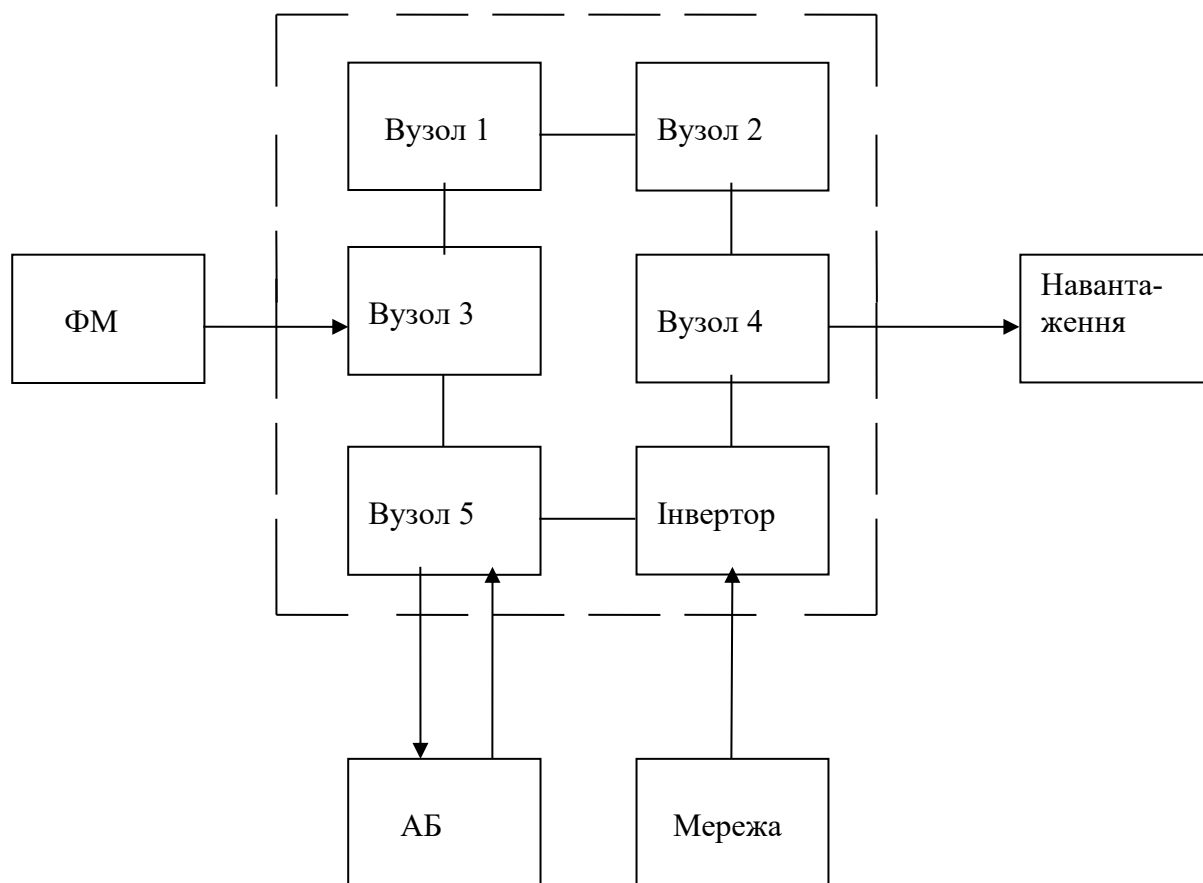
В ході виконання даної магістерської роботи було розглянуто одне із поновлювальних джерел енергії - енергію Сонця. Тільки сонячна енергія є одночасно невичерпною, дешевою і надійною. І саме це підштовхнуло до розробки системи опалення житлових приміщень, яка дала б змогу використовувати даний тип енергетичних ресурсів.

Було розглянуто три типи фотоелектричних систем: автономну, з'єднану з мережею та резервну. При обґрунтованні цих трьох систем найоптимальнішою виявилася резервна фотоелектрична система, яка була вибрана для живлення розроблюваної системи опалення.

Функціональна схема побутової геліоелектростанції показана на рис. 1.

Вузол 1-5 та інвертор утворюють інверторно-контролюючий пристрій (ІКП), де:

- вузол 1 – блокування задаючого генератора;
- вузол 2 – захист вихідних транзисторів;
- вузол 3 – індикатор напруги акумулятора;
- вузол 4 – захист від переполюсовки акумулятора;
- вузол 5 – автомат переходу на живлення від мережі і навпаки.



ФМ – фотоелектричний модуль; АБ – акумуляторна батарея;

Рис.1. Функціональна схема побутової геліоелектростанції

Електрична та теплова енергія вироблена даною системою, має меншу собівартість, ніж електрична енергія централізованої мережі, але вартість виготовлення і встановлення обладнання є досить дорогою. Таким чином термін окупності спроектованої системи опалення досягає до 20 років. Дане обґрунтування було проведено з врахуванням фактичних норм витрат на споживання електроенергії.

Перелік джерел посилань

1. Розробка автономної системи енергозабезпечення приватного будинку — Логінов М.В., Дніпро, 2022. Включає розрахунки електричної, теплової та накопичувальної ланки
2. Пархоменко І. В. Розробка систем автономного енергозабезпечення приватних будинків // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2022. [doi:10.30929/1995-0519.2022.3.10]
3. Мисак Г. Б. Автономне енергозабезпечення малоповерхового житлового будинку: досвід та перспективи // Енергетика та електрифікація, 2021.
4. Кудінов О. В. Проектування систем енергозабезпечення з використанням ВДЕ // Наукові праці ОНАХТ, №3(78), 2023.
5. Бойко О. І., Іщенко С. М. Системи комбінованого енергозабезпечення будівель // Сучасні проблеми архітектури та будівництва, 2021.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯ

Яворський М.
Горященко С.Л.

Хмельницький національний університет

Повітродувки є значущими елементами у чисельних царинах, як-от системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря (ОВК), пневматичне перенесення та процеси продукування повітря. Їхнє головне завдання полягає у забезпеченні руху повітря чи газу через систему, створюючи потрібну швидкість потоку й тиск для найкращої роботи. Продуктивність цих агрегатів відіграє ключову роль у нарощуванні енергоощадності, оптимізації споживання електроенергії та загальна дієвість систем. Відцентрові повітродувки широко використовуються у промисловості для вентилявання та циркуляції повітря. Зокрема, харчова галузь, а саме виготовлення плодово-ягідних соків, стикається з багатьма труднощами під час збереження продуктів. Важливий чинник на вирішення цих питань мають охолоджувальні вентилятори, які конструюються у різних варіантах залежно від потреб до тепловіддачі. Застосування відцентрових повітродувок дає змогу підтримувати сталий тепловий режим. Нещодавні розробки приділяють велику увагу покращенню будови та нарощуванню ефективності повітродувок. У науковій праці [1] подано висліди моделювання будови за допомогою SolidWorks. Основна ціль цих пошуків — збільшення енергоефективності та забезпечення невинного потоку повітря, досягаючи показника корисності до 84%. У праці [2] досліджується продуктивність відцентрових вентиляторів через вивчення їхніх кривих продуктивності. Це дозволило виявити проблеми потоків між лопатками, а також знайти головні джерела втрат — на вході, робочому колесі, ущільненнях і спіралях.

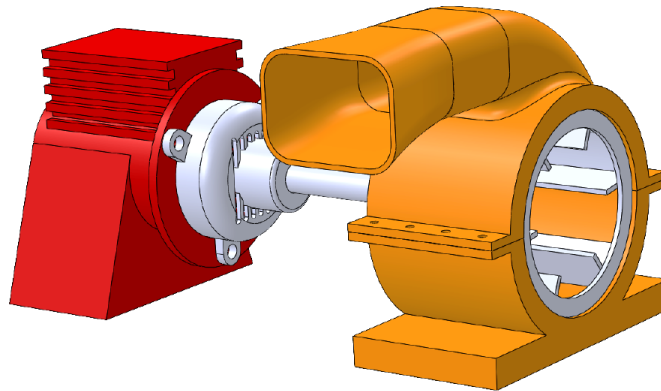


Рис.1. Конструкція системи подачі повітря

Модель включає в себе приміщення, яке являє собою кімнату з розмірами 8000X5000X3000 мм. Температура що подається - 200С зі швидкістю подачі 2 м³/хв.

На рис.2.24 показано розподіл швидкостей переміщення повітря в приміщенні. Видно що зі збільшенням відстані вона падає. Найбільша швидкість становила 0.14 м/с, найменша біля 0.04 м/с, що говорить про конвекцію повітря всередині приміщення.

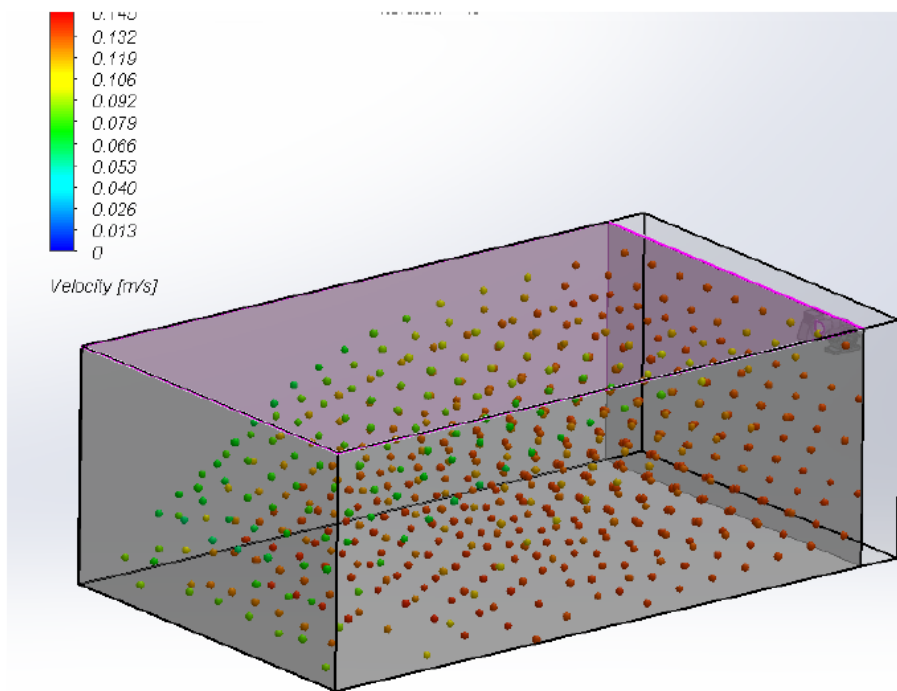


Рис.2. Розподіл повітря в приміщенні

Було змодельовано систему подачі повітря до приміщення (повітроудувка).

Одним із важливих етапів дослідження стала побудова двовимірної теплової моделі приміщення. Запропонований метод дозволив перейти від «зосередженої» температурної моделі до просторово-розподіленого опису температурного поля.

У ході моделювання було продемонстровано, що навіть спрощена 2D-модель здатна виявити важливі аспекти теплового режиму, зокрема, це нерівномірність розподілу температури; локальні перегріву поблизу радіатора; вплив зовнішніх стін на формування температурних градієнтів.

У підсумку проведеного дослідження доведено, що класичний підхід до моделювання кліматичних систем, який базується лише на статичних теплових балансах, є недостатнім для належного опису справжньої динаміки температурних процесів у приміщеннях. Натомість використання нестационарних диференціальних рівнянь першого порядку дозволяє врахувати інерційні властивості будівельних конструкцій, теплоємність повітря та затримку відгуку системи керування.

Перелік джерел посилань

1. Rooftop Air Conditioner [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.shenglin-tech.com/products/rooftop-air-conditioner.html>.
2. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 232 с.
3. Хмельницький Д. О. Системи кондиціонування повітря офісних приміщень з нечітким управлінням / Д. О. Хмельницький, В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2017. – №1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_9.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СОРТУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ ВІДХОДІВ**Яцина Д. В.***Хмельницький національний університет*

У сучасних умовах розвитку легкої промисловості проблема накопичення текстильних відходів набуває все більшої актуальності. Підприємства швейної галузі щорічно генерують значні обсяги залишків тканин, які в більшості випадків не підлягають повторному використанню через відсутність ефективних технологічних рішень для їх сортування та переробки. Значна частина таких відходів потрапляє на полігони або спалюється, що створює додаткове екологічне навантаження на довкілля та суперечить принципам сталого розвитку і циркулярної економіки.

Основною проблемою є складність ідентифікації матеріального складу текстильних відходів у виробничих умовах. Тканини можуть бути натуральними, синтетичними або змішаними, що вимагає різних підходів до їх подальшої переробки. Ручне сортування є малоефективним, залежним від людського фактору та практично не масштабується на великі обсяги виробництва. Водночас відсутність інтегрованих автоматизованих рішень унеможлиблює формування якісної вторинної сировини, придатної до промислового повторного використання.

Запропонований проєкт передбачає створення автоматизованого комплексу для сортування та переробки текстильних залишків із застосуванням сучасних цифрових технологій. Ключовим елементом системи є використання гіперспектрального (NIR) аналізу в поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту, зокрема нейронними мережами, для автоматичного розпізнавання складу тканин у реальному часі. Такий підхід дозволяє здійснювати класифікацію матеріалів без фізичного контакту та людського втручання, що суттєво підвищує точність і швидкість сортування.

На основі отриманих даних система автоматично формує однорідні потоки текстильних матеріалів, які спрямовуються на відповідні лінії подальшої переробки. Проєктом передбачається інтеграція модулів механічного розволокнювання, що дозволяє перетворювати текстильні залишки на волокнисту масу, придатну для повторного використання у виробництві нетканих матеріалів, тепло- та звукоізоляційних виробів, наповнювачів та інших продуктів вторинної переробки.

Важливою перевагою проєкту є модульна архітектура комплексу, яка дозволяє адаптувати систему під різні масштаби виробництва та інтегрувати її в існуючі технологічні лінії швейних підприємств. Це забезпечує гнучкість впровадження та економічну доцільність використання запропонованого рішення в умовах малого, середнього та великого бізнесу.

Реалізація проєкту має не лише технологічне, а й соціально-економічне значення. Зменшення обсягів захоронення текстильних відходів сприятиме зниженню екологічного навантаження, скороченню викидів парникових газів та формуванню екологічно відповідальної моделі виробництва. Одночасно підприємства отримують можливість скорочення витрат на утилізацію відходів і часткової заміни первинної сировини вторинними ресурсами, що підвищує економічну ефективність виробництва.

Таким чином, запропонований автоматизований комплекс є інноваційним інтегрованим рішенням, що поєднує розпізнавання матеріалів, сортування та механічну переробку в єдиному технологічному процесі. Проєкт формує передумови для переходу від лінійної моделі споживання до циркулярної економіки у сфері легкої промисловості та створює основу для сталого розвитку галузі з використанням інтелектуальних цифрових технологій.

Збірник наукових праць

ТЕХНІЧНА ТВОРЧІСТЬ

Відповідальний за випуск:
Неймак В.С.

Здано до друку 16.12. 2025 р.
Гарнітура Times New Roman, Arial. Умовн. друк. арк. 7,6