

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

**ПУНДИК СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ**



УДК 685.34.05

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ  
ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ  
В АВТОМАТИЗОВАНИХ ПРОЦЕСАХ ОБРОБКИ**

Спеціальність 05.05.10 – машини легкої промисловості  
Галузь знань 13 – механічна інженерія

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор  
**Кармаліта Анатолій Костянтинівич,**  
Хмельницький національний університет,  
професор кафедри машин і апаратів,  
електромеханічних та енергетичних систем

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Щербань Юрій Юрійович,**  
Київський фаховий коледж прикладних наук  
МОН України, заступник директора з академічних  
питань та інформатизації

доктор технічних наук, доцент  
**Залюбовський Марк Геннадійович,**  
Інженерно-технологічний інститут університету  
«Україна», професор кафедри автомобільного  
транспорту та сучасної інженерії

Захист відбудеться «16» січня 2025 р. о 12 -00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.102.02 у Київському національному університеті технологій та дизайну МОН України за адресою: 01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2, корпус 1, поверх 1, конференц-зал, ауд. 1-0130.

Із дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті університету [https://www.knutd.edu.ua/researchwork/academic\\_councils/](https://www.knutd.edu.ua/researchwork/academic_councils/) та в науково-технічній бібліотеці Київського національного університету технологій та дизайну за адресою: 01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2, корпус 1.

Автореферат розісланий «5» лютого 2024 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



В. М. Дворжак

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Напрямок удосконалення техніки у взуттєвому виробництві за рахунок підвищення швидкісних режимів машин уже не дає значного ефекту, оскільки частка робочого часу універсальних та автоматизованих взуттєвих машин не перевищує 40 % від циклових витрат, а решта часу припадає на допоміжні операції, пов'язані з подачею деталей у зону обробки, їхнім суміщенням, зніманням оброблених деталей тощо. Тому резерв подальшого підвищення продуктивності взуттєвих машин полягає у автоматизації даних операцій за рахунок оснащення машин засобами робототехніки.

У зв'язку з тим, що виробництво вже зараз потребує величезної кількості промислових роботів, найбільш реальним найближчим часом є впровадження у виробництво (у тому числі і на взуттєвих підприємствах) неадаптивних програмних роботів та розробка адаптивних роботів.

Програмні роботи працюють за жорсткою програмою та їх впровадження неможливе без вирішення проблем упорядкування середовища. Впровадження адаптивних роботів вимагає створення чутливих захватів, сенсорних систем. Отже, контроль положення об'єктів роботизації в цьому випадку, як складова частина процесу впорядкування середовища, є одним із вирішальних факторів для роботизації.

На відміну від приладобудівної та машинобудівної промисловості, де орієнтування, а отже, і контроль положення об'єктів роботизації здійснюється в основному за геометричними ознаками, у взуттєвій промисловості повинен бути здійснений додатковий вид контролю положення за властивостями поверхонь, оскільки взуттєві деталі зі шкіряних матеріалів мають лицьову та бахтарм'яну поверхні, а деталі зі штучних матеріалів і тканин мають лицьову та виворітну сторону, які мають різні властивості. Дослідженням процесу контролю положення деталей у взуттєвій промисловості займалися: Піскорський Г.А., Кармаліта А.К., Guillermo O. (Іспанія), Kaziur P. (Польща), Bitlisli B. (Туреччина) та інші.

Існуючі методи контролю положення плоских деталей за властивостями поверхонь є досить складними та важко реалізованими у виробничих умовах. Крім того, останнім часом з'явилося багато нових взуттєвих матеріалів, властивості поверхонь яких не вивчені.

Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки є актуальним науко-технічним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась в рамках науково-дослідної роботи «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій переробки шкіряних і волокнистих відходів у інноваційні вироби легкої промисловості» (№ 0122U001296), яка виконується в ХНУ з 2022 року.

**Мета і завдання дослідження.** Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки з подальшим розширенням їх сфери застосування. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз та узагальнення досвіду застосування пристроїв контролю положення та орієнтації плоских деталей з асиметричними властивостями поверхонь в різних галузях виробництва;

– дослідити способи контролю положення плоских деталей взуття, засновані на використанні асиметрії фрикційних властивостей та шорсткості поверхонь;

– провести дослідження шорсткості поверхонь взуттєвих матеріалів і типізацію нерівностей за їх профілем та розташуванням на поверхні;

– виконати аналітичні та експериментальні дослідження процесу контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря:

а) дослідити взаємодію струменів повітря з поверхнями контрольованих деталей та визначити фактори від яких залежить зусилля переміщення деталі на позиції контролю;

б) визначити час контролю, як чинник, що впливає на продуктивність пристроїв контролю.

– розробити модуль орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення.

**Об'єкт дослідження** – процес контролю положення плоских деталей низу взуття.

**Предмет дослідження** – пристрій для контролю положення плоских деталей низу взуття з допомогою струменів повітря.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях та принципах теоретичної механіки, теорії механізмів та машин, фізики, аеродинаміки, математики. Розробка й дослідження конструктивних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття з асиметричними властивостями поверхонь виконувались з використанням системи автоматизованого проєктування SolidWorks 2022. Експериментальні дослідження зусилля переміщення деталі на позиції контролю, проведені на спеціально розробленому експериментальному стенді з використанням тензометрії, фото- та відеозйомки, методів математичного планування експерименту.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі вирішено важливе науково-технічне завдання: на основі аналітичних та експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей поверхонь плоских деталей низу взуття визначено параметри та створено нові пристрої для контролю їх положення у полі механічних сил для процесів

автоматизованої обробки цих деталей. При цьому вперше отримано наступні наукові результати:

- запропоновано типізацію нерівностей поверхонь деталей, яка визначає лобовий опір нерівностей при їх обтікання струменями повітря;
- отримано математичні моделі взаємодії струменів повітря з нерівностями поверхонь плоских деталей низу взуття;
- отримано коефіцієнти, що характеризують різницю шорсткостей протилежних поверхонь плоских деталей низу взуття, необхідних для визначення можливості руху деталі в процесі контролю;
- отримано математичні вирази для визначення часу контролю з допомогою струменів повітря, що уможливить визначити продуктивність процесу.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що:

1. Проведені дослідження дозволяють визначити раціональні конструкційні та технічні параметри пристроїв для орієнтації плоских деталей низу взуття.

2. Виконані дослідження поверхонь взуттєвих матеріалів можуть служити передумовою появи нових способів контролю, а значить, і нових реальних пристроїв в промисловості.

3. Розроблено конструкцію модуля для орієнтації плоских деталей низу взуття на операції «шліфування та нанесення клею на підшви з матеріалу EVA» впроваджено на ПП «КМ-Поділля». Очікуваний економічний ефект від впровадження одного модуля складає 65 тис. грн.

4. Результати досліджень використовуються в освітньому процесі Хмельницького національного університету на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем для спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», зокрема при вивченні дисциплін «Сучасні технології та обладнання виробництв галузі» та «Технологічні процеси та обладнання галузі».

5. Практичне значення отриманих результатів підтверджено 2 патентами України на корисну модель.

**Особистий внесок здобувача** полягає в постановці та вирішенні основних теоретичних і експериментальних завдань. Автором сформульовано та обґрунтовано тему, проведено критичний аналіз наукової літератури, створено експериментальну установку для дослідження характеру переміщення деталі в процесі контролю її положення за допомогою струменів повітря, виконано аналітичні розрахунки, теоретичні та експериментальні дослідження, проведено математичну обробку результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: IX Міжнародній науковій конференції «IX Україно-польські наукові діалоги» (м. Хмельницький, Україна, 20–23 жовтня 2021 р.); X Міжнародній науковій конференції «X Україно-польські наукові діалоги» (м. Бидгош,

Польша, 11–15 червня 2024 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives Of Contemporary Science: Theory And Practice» (м. Львів, Україна, 19–21 серпня 2024 р.); «Сучасні технології промислового комплексу – 2024» (м. Херсон, Україна, 17–19 вересня 2024 р.).

Дисертація доповідалась повністю і одержала позитивну оцінку на: науковому семінарі кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету (17 вересня 2024 р.); науковому міжкафедральному семінарі Хмельницького національного університету (25 вересня 2024 р.); науковому семінарі Київського національного університету технологій та дизайну кафедри механічної інженерії (15 жовтня 2024 р.).

**Публікації.** За темою дисертації було опубліковано 13 наукових робіт, з яких 1 стаття входить в міжнародну наукометричну базу даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях України, 2 патенти України на корисну модель та 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основна частина дисертації представлена на 150 сторінках, містить 72 рисунка, 14 таблиць, список використаних джерел зі 125 найменуваннями на 13 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 177 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет, розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, подано інформацію щодо особистого внеску здобувача, апробації результатів досліджень, структури та обсягу дисертації.

У **першому розділі** проведено огляд методів та пристроїв для контролю положення об'єктів роботизації при автоматичному впорядкуванню середовища.

Встановлено, що наявні публікації в напрямку роботизації вуглевого виробництва присвячені, в основному, вивченню можливості застосування промислових роботів на тільки окремих операціях, а не в автоматизації технологічних процесів загалом.

Процес орієнтування об'єктів роботизації один із елементів впорядкування середовища, а завдання орієнтування включає елементи контролю положення. Таким чином, контроль за положенням об'єктів роботизації є невід'ємною частиною впорядкування середовища.

Для орієнтації плоских деталей низу взуття, поряд з контролем положення деталей за геометричними ознаками, необхідний контроль їхнього положення за асиметрією властивостей поверхонь. Пристрої, що

використовуються у приладобудуванні та машинобудуванні, для контролю положення плоских деталей за асиметрією властивостей поверхонь неможливо застосувати для більшості плоских деталей взуття, оскільки властивості поверхонь цих деталей мають свою специфіку.

Більшість плоских деталей низу взуття мають асиметрію фрикційних властивостей та величини нерівностей поверхонь, що забезпечило можливість створення пневмомеханічних способів контролю положення за властивостями поверхонь.

Пневмомеханічні способи контролю за властивостями поверхонь мають переваги перед відомими за рахунок можливості контролювати положення значної більшості типів плоских деталей низу взуття.

Встановлено, що найбільш перспективним, з точки зору застосування, а також створення високопродуктивних контролюючих пристроїв прохідного типу є спосіб струменевої повітряної системи контролю (патенти України: № 154403, № 156054), схема якого зображена на рис. 1.

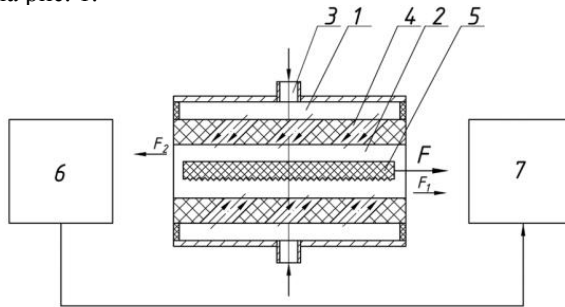


Рис. 1. Схема контролю положення плоских деталей низу взуття за асиметрією шорсткості поверхонь з допомогою струменів повітря

На схемі (рис. 1) представлено дві пневматичні камери 1, встановлені на платформі 2, що мають патрубки 3 для приєднання до системи подачі стисненого повітря. У стінці кожної камери, зверненої до протилежної камери (яку далі будемо називати несучою поверхнею камери), виконані рівномірно розподілені по всій її поверхні отвори (сопла) 4, осі яких розташовані під однаковим кутом до поверхні стінки. При цьому осі отворів однієї камери паралельні осям отворів іншої камери і суми площ отворів у стінках камер рівні між собою. Контроль здійснюється в такий спосіб. Підлягаюча контролю деталь 5 встановлюється своїм найменшим розміром (ребром) на платформі 2 між двома камерами 1. Стиснене повітря через патрубки 3 подається в камери і виходить звідти через отвори 4, діючи на поверхні деталі.

Сили  $F_1$  і  $F_2$  (рис. 1) створені тиском стиснутого повітря, діють на поверхні деталі і будуть старатися перемістити деталь з позиції

контролю. Очевидно деталь буде рухатися в сторону дії струменів повітря на поверхню з більшою шорсткістю, в даному випадку в сторону дії сили  $F_1$ . Тобто сила, яка буде переміщувати деталь з позиції контролю буде рівною:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2. \quad (1)$$

**Другий розділ** присвячений аналітичним дослідження струменевої повітряної системи визначення положення плоских деталей низу взуття за нерівностями поверхонь.

Досліджено велику кількість натуральних та штучних матеріалів, поверхні яких не є гладкими, а мають нерівності, параметри яких різні на лицьовій та виворотній поверхнях цих матеріалів.

Запропоновано типізацію поверхонь за характером напрямків та профілів нерівностей, яка створює певну модель топографії поверхні, що визначає тип обтікання струменями повітря поверхні та виступів нерівностей. Встановлено, що крім напрямку, розташування і розміру нерівностей на поверхні деталі, велике значення для взаємодії поверхні деталі з повітряним струменем має деформація нерівностей у процесі цієї взаємодії. З цієї точки зору всі нерівності можна розділити на дві групи: 1 – ті, що деформуються струменем повітря і змінюють площу опору; 2 – ті, що не деформуються і не змінюють площу опору.

Досліджено процес контролю положення плоских деталей низу взуття з асиметрією шорсткості поверхонь з допомогою струменів повітря. Схема дії складових сил від впливу повітряного струменя на плоску деталь в загальному вигляді на початку руху деталі, коли вона перекидає всі сопла, показана на рис. 2.

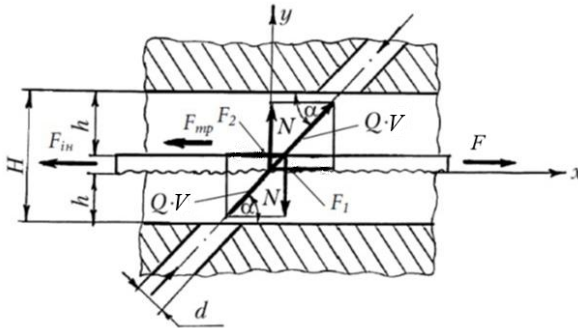


Рис. 2. Схема сил, що діють на плоску деталь у процесі контролю положення за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря

Якщо струмінь повітря діє на деталь і спрямований під деяким кутом  $\alpha$  до її поверхні, то силу дії її можна розкласти на дві складові: у напрямку нормалі до поверхні деталі  $N$  і вздовж її поверхні  $F$ . Тут слід



відмітити, що при зустрічі струменя повітря з поверхнею деталі під кутом  $\alpha \neq 90^\circ$  повітря розтікається по поверхні деталі в усі сторони в різних кількостях. Кількість витікаючого в тому чи іншому напрямку повітря залежить від багатьох факторів і, перш за все, від кута нахилу  $\alpha$ , проміжку  $h$  між поверхнею деталі і несучою поверхнею камери та величини нерівностей поверхні. Тому силу  $F$  необхідно розглядати як результуючу сил, однакових по природі з нею і направлених в різні сторони. Сила  $F$  виконує роль рухомої сили в напрямку транспортування.

Сила  $N$  виконує роль відштовхуючої, яка сприяє створенню проміжку  $h$  між деталлю і несучою поверхнею камери.

Застосовуючи закон про кількість руху, сили  $N$  і  $F$  визначили з виразів:

$$N = N_1 = N_2 = Q \cdot V \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

$$F_1 = C_1 \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$F_2 = C_2 \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

де  $Q$  – секундна масова витрата повітря;  $V$  – швидкість повітря на виході із сопла;  $C_1, C_2$  – коефіцієнти аеродинамічної сили, що вказують, яка частка енергії повітряного потоку перетворюється на енергію, що рухає деталь.

Коефіцієнти  $C_1, C_2$  залежать від форми поверхні, її шорсткості і являються характеристикою корисної роботи повітряного потоку. Таким чином, можна сказати, що дослідження зводиться до вивчення впливу різних чинників на величини  $C_1, C_2$ . Основним чинником, як показали пошукові дослідження, є шорсткість поверхонь деталі.

Позначаючи  $C = C_1 - C_2$  – коефіцієнт, що характеризує різницю нерівностей поверхонь деталі, одержимо рівняння сил, що діють на деталь в процесі контролю (рис. 2):

$$F_1 - F_2 - F_{mp} - F_{in} = 0, \quad (5)$$

або

$$C \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha - m \cdot g \cdot f = m \cdot \ddot{x}, \quad (6)$$

де  $F_{in}$  – сила інерції;  $F_{mp}$  – сила тертя між деталлю і поверхнею основи пристрою для контролю;  $m$  – маса деталі;  $f$  – коефіцієнт тертя між деталлю і поверхнею основи пристрою для контролю;  $\ddot{x}$  – прискорення.

Через складність топографії поверхонь та можливу деформацію нерівностей коефіцієнт  $C$  визначали експериментально.

Силами тертя поверхонь деталі об повітряну подушку можна знехтувати, тому що вони на два порядки менше чим сили тертя поверхні деталі об поверхню основи з будь-якого антифрикційного матеріалу.

Для визначення області кута нахилу сопла  $\alpha$  була створена 3D-модель нашого пристрою в програмному середовищі SolidWorks і проведена симуляція процесу взаємодії струменів повітря з поверхнями деталей, що

мають різні топографії в програмному середовищі SolidWorks Flow Simulation.

Визначено, що активна площа виступу нерівності, на яку діє струмінь повітря різна і залежить від кута нахилу сопла  $\alpha$ , при  $\alpha=20^\circ$  це приблизно 1/3 частина площі,  $\alpha=45^\circ$  – приблизно 4/5 частина площі,  $\alpha=70^\circ$  – вся площа нерівності. Тобто при зменшенні кута  $\alpha$  зменшується площа опору нерівностей, а значить сила переміщення деталі  $F$ .

Аналізуючи також формули (3, 4) бачимо, що при зменшенні кута  $\alpha$  збільшується горизонтальна складова сили дії струменя  $F$ , тобто сила переміщення деталі (збільшується  $\cos\alpha$ ).

Очевидно існує оптимальний кут нахилу сопел  $\alpha$ , при якому буде максимальне значення сили переміщення  $F$ .

При теоретичному обґрунтуванні оптимального діаметра сопла  $d$  і відстані між несучими поверхнями камер  $H$  необхідно враховувати умову бездросельного витікання повітря в системі «сопло–заслінка»:

$$h \geq 0.25d. \quad (7)$$

З іншого боку, зменшення діаметра сопла  $d$  за умови збереження сумарної площі сопел несучих поверхонь камер, веде до збільшення кількості сопел, а отже, зменшенню кроку між ними. Ця обставина повинна забезпечити більш рівномірне поле тиску в системі «несуча поверхня камери–деталь», що має істотне значення для м'яких деталей.

Швидкість повітря і секундну масову витрату його через сопла визначали, знаючи секундну масову витрату вхідного в камеру повітря і кількість сопел. Секундну масову витрату повітря  $Q$  на вході його в камеру визначали через швидкість повітря, що вводить у камеру, і діаметр впускного патрубку. У свою чергу швидкість вхідного в камеру повітря  $u$  визначали за відомою формулою:

$$u = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (8)$$

де  $\rho$  – густина повітря;  $p$  – динамічний тиск при вході в камеру.

Тоді секундні масові витрати повітря на вході в камеру визначаються виразом:

$$Q = \gamma \frac{\pi \cdot D^2}{4} u \cdot \rho, \quad (9)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт стиску струменя,  $\gamma \approx 0,7$ ;  $D$  – внутрішній діаметр впускного патрубку.

Секундна масова витрата повітря через кожне сопло, а також швидкість повітря на виході з кожного сопла будуть різними і залежати від положення сопла відносно впускного патрубку. Але, тому що в початковий момент контролю (у момент зрушення деталі з позиції

контролю) усі сопла перекриті деталлю, і струмені повітря, що виходять із усіх сопель впливають на деталь, для розрахунків зусилля переміщення брали середню швидкість повітря на виході із сопла, розраховану по середній секундній масовій витраті повітря через одне сопло:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\gamma \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot n_c}, \quad (10)$$

де  $n_c$  – кількість сопель;  $d$  – діаметр сопла.

Коефіцієнти тертя спокою пари «зразок – поверхня основи пристрою для контролю»  $f$  визначалися експериментально за відомою методикою.

Зважування зразків робили на лабораторних вагах з похибкою до 0,0001 Н, тоді:

$$F_{mp} = Gf, \quad (11)$$

де  $G$  – вага зразка.

Знаючи значення коефіцієнтів  $C$  матеріалів для деталей низу взуття, можна знайти необхідні параметри пристроїв для створення умов контролю. Зокрема, середня швидкість переміщення деталі на позиції контролю при рівноприскореному русі визначається виразом:

$$V_o = \left( \frac{C \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha - m \cdot g \cdot f}{m} \right) \frac{t}{2}, \quad (12)$$

або

$$\left( \frac{C \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha - m \cdot g \cdot f}{m} \right) \frac{t}{2} = \frac{l}{t}, \quad (13)$$

де  $t$  – час, за який деталь виходить з позиції контролю.

Тоді можна записати формулу для визначення часу переміщення деталі з позиції контролю в наступному вигляді:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot l}{C \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha - m \cdot g \cdot f}}. \quad (14)$$

Враховуючи вище викладене, отримали формулу для визначення зусилля переміщення деталі на позиції контролю в наступному вигляді:

$$F = C \cdot \frac{4 \cdot Q^2}{\gamma \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot n_c} \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot f. \quad (15)$$

В окремому випадку, якщо нерівності не деформуються під дією струменів повітря, для визначення зусилля застосували результати досліджень взаємодії потоку з твердими тілами з різною геометрією, коли спостерігається лобовий опір нерівностей і введено поняття коефіцієнта

опору  $C_{on}$ . Дані тверді тіла можна ідентифікувати з типізованими нами профілями нерівностей взуттєвих матеріалів. І для цих нерівностей можна застосувати  $C_{on}$  для визначення сили опору.

В такому випадку сила опору нерівностей визначається:

$$F_{onip} = C_{on} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot S, \quad (16)$$

де коефіцієнт опору  $C_{on}=C_{тиск}$ ;  $\rho$  – густина повітря;  $S$  – сумарна площа проєкцій нерівностей на площину, що перпендикулярна вектору швидкості  $V$ .

Коефіцієнт опору залежить від геометрії профілю нерівностей та їх розмірів. В цьому випадку зусилля переміщення деталі на позиції контролю буде:

$$F = F_{onip} + F_{mp}, \quad (17)$$

де  $F_{mp}$  – сила тертя між деталлю і поверхнею основи пристрою для контролю,  $F_{mp} = mgf$ ;  $m$  – маса деталі;  $f$  – коефіцієнт тертя.

Враховуючи вищевикладене, отримали формулу для визначення зусилля переміщення деталі на позиції контролю, в яких нерівності не деформуються, в наступному вигляді:

$$F = C_{on} \cdot \frac{\rho \cdot \left( \frac{4 \cdot Q}{\gamma \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot n_c} \right)^2}{2} \cdot S \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot f. \quad (18)$$

**Третій розділ** присвячено експериментальному дослідженню процесу контролю положення плоских деталей низу взуття струменями повітря. Для виконання експериментальних досліджень спроектовано і виготовлено експериментальний стенд (рис. 3), який складається з компресора, ресивера, блоку підготовки повітря та вимірювальної апаратури.

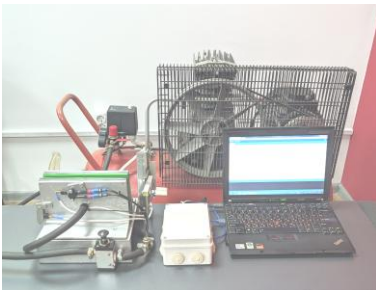


Рис. 3. Загальний вигляд експериментального стенду

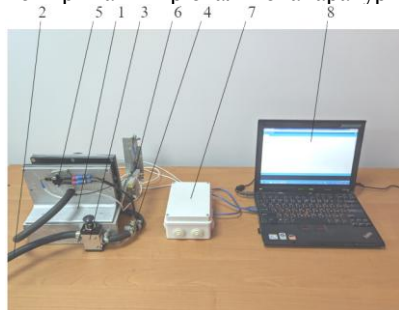


Рис. 4. Фото блоку вимірювальної апаратури для визначення зусилля переміщення деталі

Блок вимірювальної апаратури для визначення зусилля переміщення деталі (рис. 4) складається з: пристрою орієнтованої подачі 1, вхідного патрубку 2, пневморозподільника з механічним керуванням 3, трубки Піто 4, датчика тиску 5, тензодатчика 6, блоку обробки сигналів 7 та персонального комп'ютера 8.

Визначення зусилля переміщення деталі проводилось на стенді за схемою (рис. 5), на якій показано: вхідний патрубок 1, який з'єднаний з вузлом підготовки повітря 2, пневморозподільник з механічним керуванням 3, трубка Піто 4, дві пневматичні камери 5, встановлені на основі 9 паралельно одна одній, що мають патрубки 7 для приєднання до системи подачі стисненого повітря, отвори 8, виконані під кутом в стінках кожної камери, деталь 10, тензодатчик 6, підсилювач сигналу (П), блок обробки сигналів (БОС), датчик тиску (ДТ) та електронно-обчислювальна машина (ЕОМ).

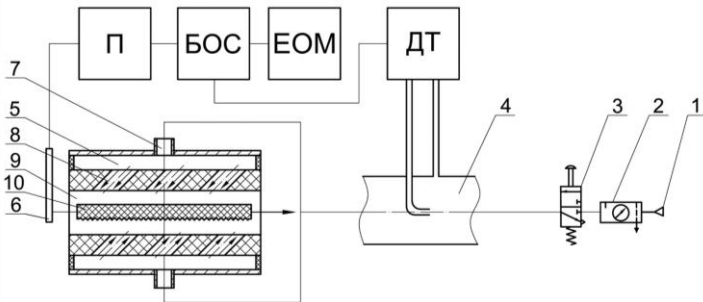


Рис. 5. Схема стенда для визначення зусилля переміщення деталі

Експериментальний стенд для визначення зусилля переміщення деталі працює наступним чином. Стиснене повітря подається через вхідний патрубок 1 на вузол підготовки повітря 2, де виставляється робочий тиск в 6 бар і надходить на пневморозподільник з механічним керуванням 3, при його спрацюванні стиснене повітря проходить через фітинг в якому розташовано трубка Піто, яка під'єднана до ДТ і служить для вимірювання динамічного тиску. Далі стиснене повітря через патрубки 7 потрапляє до двох пневматичних камер 5 і виходить через отвори 8, діючи тим самим на поверхні деталі 10, яка встановлюється своїм найменшим розміром (ребром) на платформі 9 та з'єднана ниткою з тензодатчиком 6 для визначення зусилля переміщення деталі.

Сигнали з тензодатчика надходять на підсилювач. Далі сигнали з підсилювача та датчика тиску надходять на блок обробки сигналів, який підключений до електронно-обчислювальної машини в якій в режимі реального часу записуються дані з датчиків. Дані аналізуються й обробляються за допомогою розробленого на мові С програмного забезпечення. Потім будуються необхідні графіки.

При виконанні експериментальних досліджень були вирішені наступні задачі:

1. Досліджено вплив віддалі між несучими поверхнями камер на зусилля переміщення деталі на позиції контролю.
2. Досліджено вплив кута нахилу сопел та кількість сопел в кожній камері на зміну зусилля переміщення деталі.
3. Отримано рівняння регресії, яке описує вплив вказаних факторів на зміну зусилля переміщення деталі.

Виконано порівняльний аналіз експериментально встановлених та аналітично розрахованих значень зусиль переміщення деталей.

Для вирішення задачі 1 проведено експеримент по дослідженню впливу віддалі між несучими поверхнями камер  $H$  на зусилля переміщення деталі на позиції контролю. Для визначення впливу оптимальної віддалі між несучими поверхнями камер  $H$  на зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю, було використано експериментальний стенд – рис. 3 та схему – рис. 5.

Визначення впливу віддалі між несучими поверхнями камер  $H$  на зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю проводилось наступним чином: під час визначення зусилля переміщення деталі  $F$  за схемою (рис. 5) змінювалась відстань між постійно закріпленою камерою 1 (рис. 6) та камерою 2, яка може змінювати своє положення по горизонталі на станині 3, шляхом відпусканням гвинтів 4.

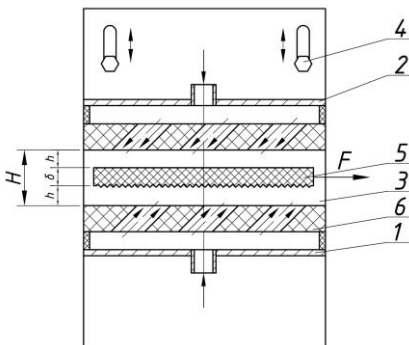


Рис. 6. Схема визначення впливу віддалі між несучими поверхнями камер  $H$  на зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю

Відстані між камерами 1 і 2 та деталлю 5 встановлювалась, з врахуванням умови безросельного витікання повітря (7) в межах від мінімальної 1.5 до 3.5 мм з кроком в 1 мм для діаметра сопел  $d_{con}=6$  мм, та від мінімальної 0.5 до 2.5 мм з тим самим кроком для діаметра сопел  $d_{con}=2$  мм. Під час кожної зміни відстані  $H$  та пластин з соплами 6 відбувалось вимірювання зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю.

Дані зберігалися в пам'яті комп'ютера з подальшою обробкою в програмному середовищі MS Excel.

Залежність зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю з матеріалу EVA та шкіри яловичої від зазору між поверхнею камери і деталлю  $h$  при різних пластинах з соплами показано на рис. 7 та рис. 8, відповідно.

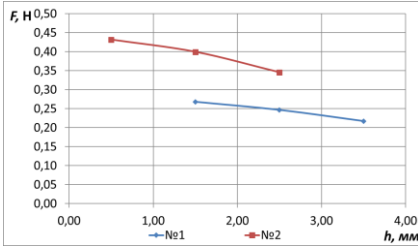


Рис. 7. Графічна залежність зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю з матеріалу EVA від зазору між поверхнею камери і деталлю  $h$  при використанні пластин з соплами № 1 ( $n_c = 3$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d_{con} = 6$  мм) і № 2 ( $n_c = 19$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d_{con} = 2$  мм)

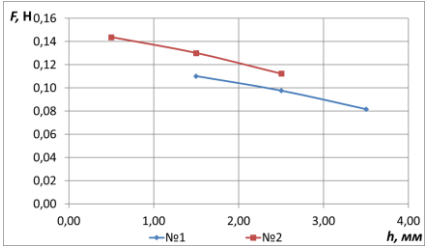


Рис. 8. Графічна залежність зусилля переміщення деталі  $F$  на позиції контролю зі шкіри яловичої від зазору між поверхнею камери і деталлю  $h$  при використанні пластин з соплами № 1 ( $n_c = 3$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d_{con} = 6$  мм) і № 2 ( $n_c = 19$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $d_{con} = 2$  мм)

Для визначення зусилля переміщення деталі було проведено двофакторний експеримент шляхом центрально-композиційного планування. Кут нахилу сопел  $\alpha$  було обрано в діапазоні від  $20^\circ$  до  $70^\circ$ , для визначення реального оптимального кута, при якому отримаємо максимальне зусилля переміщення. Кількість сопел у кожній камері  $n_c$  було обрано в діапазоні від 3 до 19 з таким розрахунком, щоб сума площ перерізів сопел рівнялася перерізу впускного патрубка.

В результаті обробки даних експериментальних досліджень було отримано рівняння регресії, які визначають зусилля переміщення деталі з матеріалу EVA (17) та штучного хутра (18):

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot \alpha - 0.00165 \cdot n_c - 0.000273 \cdot \alpha^2 + 0.000375 \cdot n_c^2 + 0.000057 \cdot \alpha \cdot n_c, \quad (19)$$

$$F = -0.302 + 0.020152 \cdot \alpha + 0.00069 \cdot n_c - 0.000221 \cdot \alpha^2 + 0.000125 \cdot n_c^2 - 0.000048 \cdot \alpha \cdot n_c. \quad (20)$$

Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення  $F=f(\alpha, n_c)$  при куті нахилу сопел  $\alpha$  та кількості сопел у кожній камері  $n_c$  на рівні від «-1» до «1» показана на рис. 9.

Визначення часу переміщення деталі на позиції контролю проводилось за схемою показаною на рис. 10. Дана схема відрізняється від схеми рис. 5 встановленим оптичним датчиком та відсутності тензодатчика і його підсилювача.

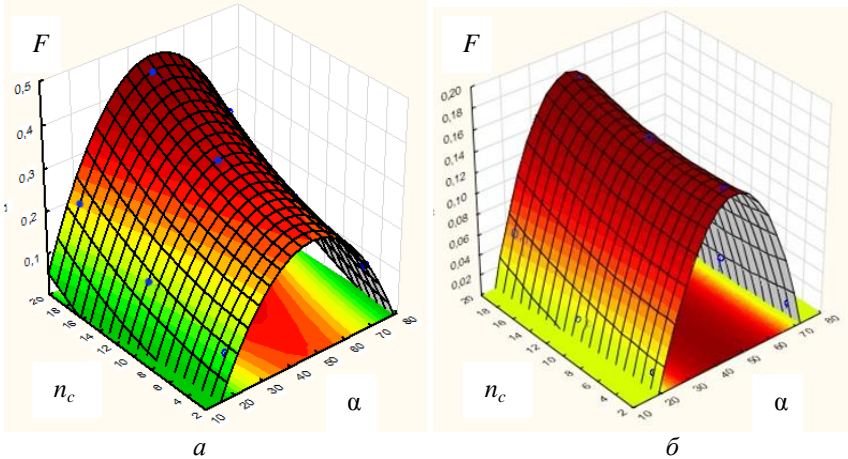


Рис. 9. Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення  $F=f(\alpha, n_c)$  при кут нахилу сопел  $\alpha$  та кількість сопел у кожній камері  $n_c$  на рівні від «-1» до «1»: а) матеріал EVA; б) штучне хутро

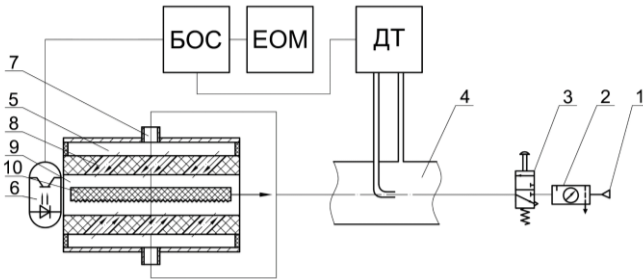


Рис. 10. Схема експериментального станда для визначення часу переміщення деталі

Результати вимірювань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань часу переміщення деталей

Назва матеріалу	$l, \text{ м}$	$F, \text{ Н}$	$t, \text{ с}$
1. Хутро штучне	0.18	0.1665	0.063
2. Хутро натуральне набивне		0.2173	0.076
3. Шкіра яловича		0.1438	0.128
4. EVA		0.431	0.143
5. Екошкіра		0.3296	0.09
6. Оксфорд		0.1431	0.094
7. Шкірозамінник		0.1880	0.115
8. Монолітна гума з рифленням на одній поверхні		0.0811	1.102
9. Мікропориста гума з рисунком на ходовій поверхні		0.05	0.792



Коефіцієнт аеродинамічної сили  $C$ , що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі визначили із умови, що в початковий момент контролю деталь нерухома, сили інерції відсутні. Тому з рівняння сил в процесі контролю (5) і умови її рівноваги випливає:

$$C \cdot Q \cdot V \cdot \cos \alpha - F_{mp} - F = 0, \quad (21)$$

тоді

$$C = \frac{F + F_{mp}}{Q \cdot V \cdot \cos \alpha}. \quad (22)$$

Значення величин, що входять в формулу (22) були визначені з допомогою експериментального стенда. Проміжні розрахунки і результати експерименту занесено в таблицю 2. Порівняльний аналіз отриманих результати розрахунків за рівняннями (15, 18) та рівнянням регресії (19), встановив, що середня розбіжність між розрахунковими рівняннями та експериментально встановленим значенням зусилля переміщення деталі на позиції контролю становить: 7.24 % (15) і 9.7 % (18) у випадку, якщо варіювати зміною кута нахилу сопел при незмінній кількості сопел у кожній камері та 8.19 % (15) і 12.4 % (18), якщо змінювати кількість сопел у кожній камері, при незмінному куті нахилу сопел.

Таблиця 2

Проміжні розрахунки і результати експерименту  
для визначення коефіцієнта аеродинамічної сили

Матеріал деталі	Швидкісний напір при вході в камеру $\Delta P$ , Па	Швидкість повітря при вході в камеру $u$ , м/с	Секундний масовий розхід на вході в камеру $Q_b$ , кг/с	Середній секундний масовий розхід через 1 сопло $Q$ , кг/с	Середня швидкість повітря при виході із сопла $V$ , м/с	$\cos \alpha$	Маса деталі $m$ , кг	Коефіцієнт тертя $f$	Зусилля переміщення деталі $F$ , Н	$C$
1. Хутро штучне КЛ2400Б	7056	107.1	$6.5 \cdot 10^{-3}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	120	0.707	0.006	0.49	0.166	0.91
2. Хутро натуральне набивне, 1056305							0.009	0.42	0.217	0.93
3. Шкіра яловича ДСТУ 2726							0.015	0.75	0.144	0.66
4. EVA, 832621							0.018	0.67	0.431	0.71
5. Екошкіра, 14221							0.007	0.65	0.33	0.53
6. Оксфорд, 187102							0.006	0.42	0.143	0.41
7. Шкірозамінник, 111449							0.009	0.38	0.188	0.43
8. Монолітна гума з рифленням на одній поверхні, 3005819							0.085	0.47	0.081	0.85
9. Мікропориста гума з рисунком на ходовій поверхні, 321650							0.075	0.41	0.05	0.63

Порівняльний аналіз отриманих результати розрахунків за рівняннями (15, 18) та рівнянням регресії (19), встановив, що середня розбіжність між розрахунковими рівняннями та експериментально встановленим значенням зусилля переміщення деталі на позиції контролю становить: 7.24 % (15) і 9.7 % (18) у випадку, якщо варіювати зміною кута нахилу сопел при незмінній кількості сопел у кожній камері та 8.19 % (15) і 12.4 % (18), якщо змінювати кількість сопел у кожній камері, при незмінному куті нахилу сопел.

Результати розрахункових ( $t$ ) і експериментальних ( $t_e$ ) значень часу та розбіжності між ними представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахункових і експериментальних значень часу

Назва матеріалу	$l$ , м	$t$ , с	$t_e$ , с	Відхилення, %
1. Хутро штучне	0.18	0.068	0.063	7.89
2. Хутро натуральне набивне		0.083	0.076	8.58
3. Шкіра яловича		0.143	0.128	10.23
4. EVA		0.154	0.143	7.4
5. Екошкіра		0.101	0.09	10.46
6. Оксфорд		0.104	0.094	9.8
7. Шкірозамінник		0.126	0.115	8.86
8. Монолітна гума з рифленням на одній поверхні		1.246	1.102	11.58
9. Мікропориста гума з рисунком на ходовій поверхні		0.908	0.792	12.5

**Четвертий розділ** присвячено практичному застосуванню результатів наукових досліджень.

Практичне застосування результати дослідження знайшли у розробці модуля орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь (рис. 11), оснащеного пристроєм для контролю їх положення на основі власного патенту на корисну модель № 156054. При розробці модуля використано систему автоматизованого проектування SolidWorks, результати досліджень, проведених у дисертаційній роботі, у тому числі й патент на корисну модель та встановлення його в автоматичну лінію для обробки таких деталей.

Розроблено блок-схему автоматизованої лінії для обробки низу взуття з модулем орієнтації плоских деталей в двох варіантах для різних технологічних процесів, один з них для обробки підшов з матеріалу EVA, представлений на рис. 12.

Розроблена конструкція модуля для орієнтації плоских деталей низу взуття на операції «шліфування та нанесення клею на підшви з матеріалу EVA», яка впроваджена на ПП «КМ-Поділля». Очікуваний економічний ефект від впровадження одного модуля складає 65 тис. грн.

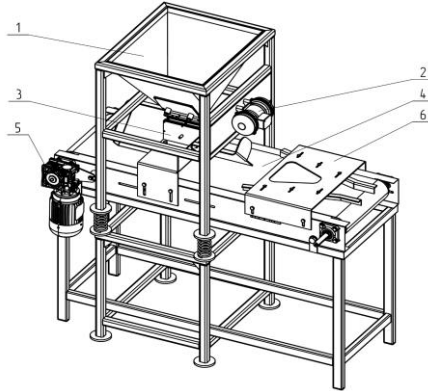


Рис. 11. Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття: 1 – вібробункер, 2 – вібромотор, 3 – пристрій для контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь, 4 – стрічковий транспортер, 5 – привід, 6 – пристрій центрування плоских деталей взуття

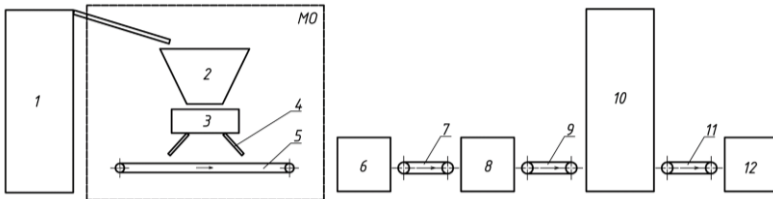


Рис. 12. Блок-схема автоматизованої лінії для обробки підшов з матеріалу EVA:

- 1 – гідравлічний прес або лазерна розкрійна машина;  
 МО – модуль орієнтації, який в свою чергу складається з: 2 – вібробункера, 3 – пристрою для контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь, 4 – лотків, 5 – стрічкового транспортера;  
 6 – напівавтомат для шліфування підшови; 7, 9, 11 – стрічковий транспортер;  
 8 – машина для нанесення клею на неходову поверхню підшови;  
 10 – тунель для швидкої сушки; 12 – стіл для комплектації деталей

Результати досліджень використовуються в освітньому процесі Хмельницького національного університету на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем для спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», зокрема при вивченні дисциплін «Сучасні технології та обладнання виробництв галузі» та «Технологічні процеси та обладнання галузі».

У додатках подано перелік патентів України автора, таблиця результатів експериментальних даних, акти впровадження і реалізації проведених досліджень.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного аналізу та узагальнення досвіду застосування пристроїв орієнтації плоских деталей з асиметричними властивостями поверхонь в різних галузях виробництва, встановлено доцільність проведення науково-дослідної роботи у галузі організації середовища для роботизації взуттєвого виробництва, у тому числі й необхідність створення ефективних пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь як невід'ємної частини упорядкування середовища.

2. Аналіз і дослідна перевірка пневмомеханічних способів контролю встановили доцільність більш глибокого аналітичного та експериментального дослідження способу контролю положення плоских деталей низу взуття за допомогою струменів повітря захищеного патентами UA № 154403, № 156054.

3. В результаті дослідження шорсткості поверхонь запропонована типізація нерівностей поверхонь взуттєвих матеріалів за типом напрямків розташування та профілів нерівностей, що значно спрощує дослідження процесу контролю положення плоских деталей за властивостями поверхонь з допомогою струменевої системи.

4. Отримано аналітичне рівняння для визначення зусилля переміщення деталі з врахуванням аеродинамічного коефіцієнту, що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі для всіх типів нерівностей. Розбіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень не перевищує 8.19 %.

5. Експериментально підтверджено, що оптимальним кутом нахилу сопел  $\alpha$ , при якому буде максимальне зусилля переміщення деталі на позиції контролю  $F$ , є кут  $\alpha$  в межах від  $45^\circ$  до  $48^\circ$ .

6. Отримано аналітичне рівняння для визначення зусилля переміщення деталі через силу лобового опору, яка визначається через коефіцієнт опору та площу нерівностей для поверхонь, які мають нерівності, що не деформуються під дією струменів повітря. Розбіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень не перевищує 12.4 %.

7. Аналітичні та експериментальні дослідження способу контролю за допомогою струменевої системи, як найбільш ефективного, з точки зору застосування показали, що зусилля переміщення деталі на позиції контролю залежить від наступних факторів: кута нахилу сопел; діаметрів сопел; віддалі між несучою поверхнею камери з соплами та поверхнею деталі; тиску повітря; параметрів нерівностей (розмірів, розташування на поверхні та форми).

8. Визначено, що величина часу контролю знаходиться в межах часу виконання технологічних операцій, який становить від 1 до 2 с, на високопродуктивному обладнанні взуттєвого виробництва – машинах прохідного типу.

9. Розроблено конструкцію модуля орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення.

10. Результати наукових досліджень впроваджено у виробництво на ПП «КМ-Поділля». Очікуваний економічний ефект від впровадження одиниці обладнання складе 65 тис. грн.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### ***Статті у наукових фахових виданнях України та виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних***

1. Аналіз механічних способів контролю положення плоских деталей взуття по властивостях поверхонь / А. К. Кармаліта, С. І. Пундик, Г. М. Драпак, В. І. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 3 (309). – С. 194–198. *(Проведено аналіз механічних способів контролю положення плоских деталей взуття по властивостях поверхонь).*

2. Organization of the operating environment for industrial robots processing flat objects that have asymmetry of part surfaces / [A. K. Karmalita, S. I. Pundyk, V. I. Onofriichuk and others]. // Science and Innovation. – 2024. – № 20 (1). – С. 68–73. *(Визначено способи організації середовища для роботи промислових роботів з плоскими об'єктами, що мають асиметрію поверхонь деталей).*

3. Кармаліта А. К. Способи контролю положення плоских деталей взуття за асиметрією властивостей поверхонь / А. К. Кармаліта, С. І. Пундик // Технології та інжиніринг. – 2024. – № 1 (18). – С. 50–59. *(Проведено системний аналіз способів контролю положення плоских деталей за асиметрією поверхонь в різних галузях промисловості).*

4. Кармаліта А. К. Фізична модель взаємодії струменів повітря з рельєфом плоскої поверхні / А. К. Кармаліта, С. І. Пундик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2024. – № 2 (333). – С. 404–408. *(Запропонована типізація поверхонь за характером напрямків та профілів нерівностей).*

5. Кармаліта А. К. Взаємодія струменів повітря з поверхнею плоскої деталі в процесі організації середовища для роботи промислових роботів / А. К. Кармаліта, С. І. Пундик // Перспективні технології та прилади. – 2024. – № 24. – С. 45–49. *(Визначено сили взаємодії струменів повітря з поверхнями плоских деталей в процесі контролю їх положення).*

6. Пундик С. І. Експериментальне дослідження процесу контролю положення плоских деталей з асиметрією поверхонь струменями повітря / С. І. Пундик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2024. – № 3 (337). – С. 285–287.

### ***Патенти на корисну модель***

7. Патент 154403, МПК В65Н 3/08. Спосіб орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь / Кармаліта А. К.,

Пундик С. І., – № u202302942; заяв. 16.06.2023 ; опуб. 08.11.2023, Бюл. № 1. *(Розробка способу орієнтації за допомогою струменів повітря).*

8. Патент 156054, МПК В65Н 3/08, В65Н 5/02. Спосіб орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь з пристроєм переорієнтації / Кармаліта А. К., Пундик С. І., – № u202305940; заяв. 07.12.2023; опуб. 01.05.2043, Бюл. № 18. *(Розробка способу переорієнтації плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь).*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів дисертації***

9. Кармаліта А. К. Проектування засобів організації середовища для промислових робіт / А. К. Кармаліта, С. І. Пундик // 9-та Міжнародна наукова конференція «IX Україно-Польські наукові діалоги» 20–23 жовтня 2021 року. Тези доповідей. – С. 143–145. *(Сформульовано проблеми орієнтування деталей).*

10. Karmalita A. Sensor-based gripping of industrial robots in textile manufacturing processes / A. Karmalita, S. Pundyk, M. Bartkov // 10-th Internaciional conference «X Ukrainian-Polish scientific dialogues» 11–15 June 2024 – P. 333–336. *(Запропоновано методи орієнтації плоских деталей з різними властивостями поверхонь).*

11. Karmalita A. Design of pneumatic devices for oriented machining of flat parts with surface asymmetry / A. Karmalita, S. Pundyk, O. Dziavoruk // 10-th Internaciional conference «X Ukrainian-Polish scientific dialogues» 11–15 June 2024 – P. 337–341. *(Запропонована схема контролю положення плоских деталей взуття по асиметрії шорсткості поверхонь за допомогою струменів повітря).*

12. Pundyk S. Status and prospects of the development of robotization in the footwear industry / S. Pundyk, A. Karmalita // VII International Scientific and Practical Conference «Perspectives of contemporary science: theory and practice» 19–21 August 2024. – P. 162–165. *(Розглянуто стан та перспективи розвитку роботизації у взуттєвій промисловості).*

13. Пундик С.І. Розробка автоматизованої лінії по обробці деталей низу взуття / С. І. Пундик, А. К. Кармаліта // XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу» 17–19 вересня 2024 року. Херсон, 2024. – С. 107–108. *(Розроблено блок-схему автоматизованої лінії для обробки деталей низу взуття).*

**АНОТАЦІЯ**

**Пундик С. І. Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.10 – машини легкої

промисловості. – Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, 2024.

Дисертація присвячена актуальній проблемі – обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки з метою розширення сфери застосування, підвищення продуктивності та автоматизації процесів по обробці деталей низу взуття.

Встановлено, що більшість плоских деталей низу взуття мають асиметрію фрикційних властивостей та величини нерівностей поверхонь, що забезпечує можливість створення пневмомеханічних способів контролю положення за властивостями поверхонь. Встановлено, що найбільш перспективним, з точки зору застосування, а також створення високопродуктивних контролюючих пристроїв прохідного типу є спосіб струменевої повітряної системи контролю.

Запропоновано типізацію поверхонь за характером напрямків та профілів нерівностей, яка створює певну модель топографії поверхні, що визначає тип обтікання струменями повітря поверхні та виступів нерівностей. Встановлено, що крім напрямку, положення і розміру нерівностей поверхні деталі, велике значення для взаємодії поверхні деталі з повітряним струменем має деформація нерівностей у процесі цієї взаємодії.

Досліджено взаємодію струменів повітря із поверхнею деталі та встановлено фактори, які впливають на зусилля переміщення деталі на позиції контролю. Отримано аналітичне рівняння для визначення зусилля переміщення деталі через аеродинамічний коефіцієнт, що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі для всіх типів нерівностей. Отримано аналітичне рівняння для визначення зусилля переміщення деталі через силу лобового опору, яка визначається через коефіцієнт опору та площу нерівностей для поверхонь, які мають нерівності, що не деформуються під дією струменів повітря.

Проведено експериментальні дослідження впливу віддалі між несучими поверхнями камер на зусилля переміщення деталі на позиції контролю. Експериментально досліджено вплив кута нахилу сопел та кількість сопел у кожній камері на зусилля переміщення деталі на позиції контролю. Визначено, величина часу контролю, яка знаходиться в межах часу виконання технологічних операцій на самому високопродуктивному обладнанні взуттєвого виробництва – машинах прохідного типу.

Експериментально визначено коефіцієнт аеродинамічної сили, що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі.

Розроблено модуль орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення.

**Ключові слова:** плоскі деталі, струмені повітря, зусилля переміщення, нерівності поверхні, контроль положення, орієнтація.

## SUMMARY

**Pundyk S. I. Justification of the design parameters of devices for controlling the position of flat parts of the bottom of shoes in automated processing processes.** – Manuscript.

Thesis for candidate degree in technical sciences (PhD): Specialty 05.05.10 – machines of light industry. – Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to the actual problem – substantiating the design parameters of devices for controlling the position of flat parts of shoe bottoms in automated processing processes with the aim of expanding the scope of application, increasing productivity and automating the processes of processing shoe bottom parts.

It was established that most of the flat parts of the bottom of shoes have asymmetry of frictional properties and the magnitude of surface irregularities, which provides the possibility of creating pneumomechanical methods of position control based on surface properties.

It was established that the most promising, from the point of view of application, as well as the creation of high-performance control devices of the pass-through type, is the method of the jet air control system.

Typification of surfaces according to the nature of the directions and profiles of irregularities is proposed, which creates a certain model of the surface topography, which determines the type of air flow around the surface and protrusions of irregularities.

It was established that, in addition to the direction, position and size of the surface irregularities of the part, the deformation of the irregularities in the process of this interaction is of great importance for the interaction of the surface of the part with the air jet. The interaction of air jets with the surface of the part was studied and the factors affecting the effort of moving the part to the control position were established.

An analytical equation was obtained for determining the force of movement of the part due to the aerodynamic coefficient, which characterizes the difference in the topographic characteristics of the surfaces of the part for all types of irregularities.

An analytical equation is obtained for determining the force of movement of the part due to the drag force, which is determined by the drag coefficient and the area of irregularities for surfaces that have irregularities that do not deform under the influence of air jets.

Experimental studies of the effect of the distance between the bearing surfaces of the cameras on the effort of moving the part to the control position were carried out. The effect of the angle of inclination of the nozzles and the number of nozzles in each chamber on the effort to move the part to the control position was experimentally investigated.



The value of the control time, which is within the limits of the execution time of technological operations on the most high-performance shoe production equipment – walk-through machines, has been determined.

The coefficient of aerodynamic force, which characterizes the difference in the topographic characteristics of the surfaces of the part, was experimentally determined. A module for orientation of the flat parts of the sole of the shoe according to the properties of the surfaces, equipped with a device for controlling their position, has been developed.

**Key words:** flat parts, air jets, movement forces, surface irregularities, position control, orientation.

Підписано до друку 07.11.2024. Формат 30×42/4.  
Ум. друк. арк. – 0,9. Обл.-вид. арк. – 1,0.  
Наклад 100 прим. Зам. № 82/24, 2024

---

Редакційно-видавничий відділ ХНУ.  
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1.  
Свідоцтво про внесення в Державний реєстр, серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.