

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПУНДИК СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 685.34.05

ДИСЕРТАЦІЯ


ОБҐРУНТУВАННЯ 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

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 С.І. Пундик

Науковий керівник

Кармаліта Анатолій Костянтинович
кандидат технічних наук, професор

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Пундик С.І. Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.10 «Машини легкої промисловості». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2024.

Зміст анотації.

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.

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 таких операцій за рахунок оснащення машин засобами робототехніки.

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

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. Пневмомеханічні способи контролю за властивостями поверхонь мають переваги перед відомими, а саме: простоту та надійність в роботі; можливість 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.

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. 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 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.

Спроековано і виготовлено експериментальний стенд з пристроєм орієнтованої подачі, для визначення зусилля та часу переміщення деталі на позиції контролю.

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. На основі проведеного експерименту підтверджено отримані математичні залежності щодо розрахунків зусилля переміщення деталі на позиції контролю.

Визначено, величина часу контролю, яка знаходиться в межах часу виконання технологічних операцій на самому високопродуктивному обладнанні вуттєвого виробництва – машинах прохідного типу.

Експериментально визначено коефіцієнт аеродинамічної сили, що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі. Знаючи значення якого, можна знайти необхідні параметри пристроїв для контролю, а також необхідний тиск повітря для створення зусилля, достатнього для переміщення цих деталей з позиції контролю із заданою швидкістю, тобто для створення умов контролю.

Розроблено блок-схеми автоматизованих лінії для обробки мікропористих підошов з матеріалу EVA та плоских деталей низу взуття із натуральної шкіри. Також розроблено модуль орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у виробництво. Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття прийнято до впровадження на ПП «КМ-Поділля». Очікуваний економічний ефект від впровадження одиниці обладнання складе 65 тисяч грн.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень роботи 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».

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

Результати дисертаційної роботи апробовано на 4-ох конференціях різних рівнів, а також на науковому семінарі кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету та науковому міжкафедральному семінарі ХНУ. Основними науковими конференціями є: "IX Україно-Польські наукові діалоги" (жовтень 2021 р., м. Хмельницький); "X Україно-Польські наукові діалоги" (червень 2024 р., м. Бидгощ, Польща); "Perspectives of contemporary science: theory and practice" (серпень 2024 р., м. Львів); "Сучасні технології промислового комплексу – 2024" (вересень 2024 р., м. Херсон).

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 13 наукових роботах, з яких 1 стаття входить в міжнародну науково-метричну базу даних Scopus, 5 статей у фахових виданнях України, 2 патенти України на корисну модель та 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Список публікацій здобувача.

У виданнях, що внесені до переліку міжнародних наукометричних баз.

1. 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).*

У фахових виданнях.

2. 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).*

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. Пундик С. І. Фізична модель взаємодії струменів повітря з рельєфом плоскої поверхні / С. І. Пундик, А. К. Кармаліта. // 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 корисні моделі.

7. Пат. України 154403, МПК В65Н 3/08. Спосіб орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь / Кармаліта А.К., Пундик С.І., заявник та патентовласник Кармаліта А.К., Пундик С.І. – № 202302942; заяв. 16.06.2023; опуб. 08.11.2023, Бюл. № 1. *(Розробка способу орієнтації за допомогою струменів повітря).*

8. Пат. України 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., заявник та патентовласник Кармаліта А.К., Пундик С.І. – № 202305940; заяв. 07.12.2023; опуб. 02.05.2024,

Бюл. № 18. *(Розробка способу переорієнтації плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь).*

Матеріали і тези конференцій.

9. Кармаліта А.К. Проектування засобів організації середовища для промислових роботів / А.К. Кармаліта, С.І. Пундик // 9-та Міжнародна наукова конференція "ІХ Україно-Польські наукові діалоги" 20-23 жовтня 2021 року: тези доповідей. Хмельницький, 2021. – 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 International conference “X Ukrainian-Polish scientific dialogues” 11-15 June 2024. Bydgoszcz, 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 International conference “X Ukrainian-Polish scientific dialogues” 11-15 June 2024. Bydgoszcz, 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. Lviv, 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 // VIII Міжнародна науково-практична конференція "Сучасні технології промислового комплексу – 2024" 17-19 вересня 2024 року. Херсон, 2024. – С. 107–108. *(Розроблено блок-схему автоматизованої лінії для обробки деталей низу взуття).*

ABSTRACT

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. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.05.10 "Light Industry Machines". – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2024.

The content of the abstract.

The dissertation is devoted to a topical problem - the substantiation of the design parameters of devices for controlling the position of flat parts of the bottom of shoes in automated processing processes in order to expand the scope of application, increase productivity and automation of processes for processing parts of the bottom of shoes.

The direction of improving technology in shoe production by increasing the speed modes of machines no longer gives a significant effect, since the share of working time of universal and automated shoe machines does not exceed 40% of cycle costs, and the rest of the time falls on auxiliary operations related to the supply of parts to the processing area, their alignment, removal of processed parts, etc. Therefore, the reserve for further increasing the productivity of shoe machines lies in the automation of such operations by equipping machines with robotics.

Software robots work according to a rigid program and their implementation is impossible without solving the problems of streamlining the environment. The introduction of adaptive robots requires the creation of sensitive grippers and sensor systems. Therefore, the control of the position of robotic objects in this case, as an integral part of the process of ordering the environment, is one of the decisive factors for robotization.

It has been established that most of the flat parts of the bottom of shoes have asymmetry of frictional properties and the magnitude of surface irregularities, which makes it possible to create pneumomechanical methods for controlling the position of surface properties. Pneumomechanical methods of controlling the properties of

surfaces have advantages over known ones, namely: simplicity and reliability in operation; the ability to control the position of the vast majority of types of flat parts of the bottom of the shoe.

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

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

It has been established that in addition to the direction, position and size of the irregularities of the surface of the part, the deformation of irregularities in the process of this interaction is of great importance for the interaction of the surface of the part with the air jet. From this point of view, all irregularities can be divided into two groups: 1 - those that are deformed by a jet of air and change the area of resistance; 2 - those that do not deform and do not change the area of resistance.

The interaction of air jets with the surface of the part was investigated and the factors influencing the force of moving the part at the control position were established.

An analytical equation for determining the force of displacement of a part through the aerodynamic coefficient is obtained, which characterizes the difference in the topographic characteristics of the surfaces of the part for all types of irregularities.

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

An experimental stand with an oriented feeding device was designed and manufactured to determine the force of movement and the speed of movement of the part at the control position.

Experimental studies of the influence of the distance between the load-bearing surfaces of the chambers on the force of moving the part at the control position were carried out.

The influence of the angle of inclination of the nozzles and the number of nozzles in each chamber on the force of movement of the part at the control position was experimentally investigated. On the basis of the experiment, the obtained mathematical dependencies on the calculations of the force of movement of the part at the control position were confirmed.

It is determined that the value of the control time, which is within the time of performing technological operations on the most high-performance equipment of shoe production – pass-through machines.

The coefficient of aerodynamic force, which characterizes the difference in the topographic characteristics of the surfaces of the part, has been experimentally determined. Knowing the value of which, it is possible to find the necessary parameters of the devices for control, as well as the necessary air pressure to create a force sufficient to move these parts from the control position at a given speed, that is, to create control conditions.

Flowcharts of automated lines for processing microporous soles made of EVA material and flat parts of shoes made of genuine leather have been developed. A module for the orientation of flat shoe parts by surface properties has also been developed, equipped with a device for controlling the position of flat shoe parts by surface properties.

The results of the dissertation work are implemented in production. The orientation module of flat shoe parts has been accepted for implementation at the KM-Podillya PE. The expected economic effect from the introduction of a unit of equipment will amount to UAH 65 thousand.

The results of theoretical and experimental research are used in the educational process of Khmelnytskyi National University at the Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Power Systems for the specialty 133 Industrial Engineering, in particular in the study of the disciplines "Modern Technologies and

Equipment of Industry Production" and "Technological Processes and Equipment of the Industry".

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

The results of the dissertation work were tested at 4 conferences of different levels, as well as at the scientific seminar of the Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems of Khmelnytskyi National University and the scientific interdepartmental seminar of KhNU. The main scientific conferences are: "IX Ukrainian-Polish Scientific Dialogues" (October 2021, Khmelnytskyi); "X Ukrainian-Polish Scientific Dialogues" (June 2024, Bydgoszcz, Poland); "Perspectives of contemporary science: theory and practice" (August 2024, Lviv); "Modern Technologies of the Industrial Complex – 2024" (September 2024, Kherson).

The main results of the dissertation work are published in 13 scientific papers, of which 1 article is included in the international scientific metric database Scopus, 5 articles in professional journals of Ukraine, 2 patents of Ukraine for a utility model and 5 abstracts of reports at international scientific conferences.

List of applicant's publications.

In publications included in the list of international scientometric databases.

1. 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. – No20(1). – P. 68–73. (*Methods of organizing the environment for the work of industrial robots with flat objects with asymmetry of the surfaces of parts have been determined*).

In professional journals.

2. Analysis of mechanical methods for controlling the position of flat shoe parts by surface properties / A. K. Karmalita, S. I. Pundyk, H. M. Drapak, V. I. Melnyk // Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. –

2022. – No3 (309). – P. 194–198. (*An analysis of mechanical methods for controlling the position of flat parts of shoes by surface properties was carried out*).

3. Karmalita A. K., Pundyk S. I. Ways to control the position of flat shoe parts by asymmetry of surface properties. // *Technologies and Engineering*. – 2024. – No1(18). – P. 50–59. (*A systematic analysis of methods for controlling the position of flat parts by surface asymmetry in various industries was carried out*).

4. Pundyk, S. I., Karmalita, A. K. "Physical model of interaction of air jets with flat surface relief". // *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. – 2024. – No2 (333). – P. 404–408. (*Typification of surfaces by the nature of directions and profiles of irregularities is proposed*).

5. Karmalita A. K., Pundyk S. I. Interaction of air jets with the surface of a flat part in the process of organizing the environment for the work of industrial robots. // *Perspective Technologies and Devices*. – 2024. – No. 24. – P. 45–49. (*The forces of interaction of air jets with the surfaces of flat parts in the process of controlling their position have been determined*).

6. Pundyk, S. I. Experimental study of the process of controlling the position of flat parts with asymmetry of surfaces with air jets. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. – 2024. – No3 (337). – P. 285–287.

Utility Model Patents.

7. Pat. of Ukraine 154403, IPC B65N 3/08. Method of oriented feeding for the processing of flat parts with different surface roughness / Karmalita A.K., Pundyk S.I., applicant and patent holder Karmalita A.K., Pundyk S.I. – No. 202302942; statements. 16.06.2023; pub. 08.11.2023, Bull. No 1. (*Development of a method of orientation using air jets*).

8. Pat. Ukraine 156054, IPC B65N 3/08, B65H 5/02. Method of oriented feeding for the processing of flat parts with different surface roughness with a reorientation device / Karmalita A.K., Pundyk S.I., applicant and patent holder Karmalita A.K., Pundyk S.I. – No. 202305940; statements. 07.12.2023; opub. 02.05.2024, Bull. No 18. (*Development of a method for reorienting flat parts with different surface roughness*).

Materials and abstracts of conferences.

9. Karmalita A.K., Pundyk S.I. Designing means of organizing the environment for industrial robots / A.K. Karmalita, S.I. Pundyk // 9th International Scientific Conference "IX Ukrainian-Polish Scientific Dialogues" October 20-23, 2021: abstracts. Khmelnytskyi, 2021. – P. 143–145. *(The problems of orientation of parts are formulated).*

10. Karmalita A. Sensor-based gripping of industrial robots in textile manufacturing processes / A. Karmalita, S. Pundyk, M. Bartkov // 10th International conference "X Ukrainian-Polish scientific dialogues" 11-15 June 2024. Bydgoszcz, 2024. – P. 333–336. *(Methods of orientation of flat parts with different surface properties are proposed).*

11. Karmalita A. Design of pneumatic devices for oriented machining of flat parts with surface asymmetry / A. Karmalita, S. Pundyk, O. Dziavoruk // 10th International conference "X Ukrainian-Polish scientific dialogues" 11-15 June 2024. Bydgoszcz, 2024. – P. 337–341. *(A scheme for controlling the position of flat parts of shoes by the asymmetry of surface roughness using air jets is proposed).*

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. Lviv, 2024. – P. 162–165. *(Розглянуто стан та перспективи розвитку роботизації у взуттєвій промисловості).*

13. Pundyk S.I., Karmalita A.K. "Development of an automated line for processing shoe bottom details" // VIII International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies of the Industrial Complex – 2024" September 17-19, 2024. Kherson, 2024. – P. 107–108. *(A block diagram of an automated line for processing parts of the bottom of shoes has been developed).*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РОБОТИЗАЦІЇ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ВПОРЯДКУВАННЮ СЕРЕДОВИЩА	24
1.1. Стан та перспективи розвитку роботизації у взуттєвій промисловості	24
1.2. Визначення положення об'єктів роботизації – невід'ємний елемент впорядкування середовища.....	28
1.3. Особливості контролю положення деталей взуття.....	30
1.4. Методи контролю положення плоских деталей за асиметрією властивостей поверхонь	32
1.5. Аналіз пневмомеханічних способів контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь.....	39
1.5.1. Контроль положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь.....	40
1.5.2. Контроль положення плоских деталей низу взуття за асиметрією топографії поверхонь	42
1.5.3. Експериментальна перевірка застосування пневмомеханічних способів контролю	46
Висновки до 1-го розділу	50
РОЗДІЛ 2. СТРУМЕНЕВА ПОВІТРЯНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ ЗА НЕРІВНОСТЯМИ ПОВЕРХОНЬ	52
2.1. Типізація поверхонь взуттєвих матеріалів за нерівностями.....	52
2.1.1. Характеристики поверхонь взуттєвих матеріалів.....	53
2.1.2. Аналіз типізованих поверхонь.....	64
2.2. Аналітичне дослідження процесу контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря.....	70
Висновки до 3-го розділу	80

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ СТРУМЕНЯМИ ПОВІТРЯ.....	83
3.1. Експериментальне дослідження зусилля переміщення деталі.....	83
3.1.1. Опис експериментальної установки.....	83
3.1.2. Постановка задач та планування експерименту. Вибір та обґрунтування факторів, які впливають на досліджуваний процес.....	91
3.2. Визначення коефіцієнта тертя.....	113
3.3. Експериментальне дослідження часу переміщення деталі.....	117
3.3.1. Опис експериментальної установки.....	117
3.3.2. Порядок проведення та обробка даних експерименту.....	119
3.4. Визначення коефіцієнта аеродинамічної сили.....	121
3.5. Порівняння теоретичного та експериментального значень зусилля переміщення деталі на позиції контролю.....	122
Висновки до 3-го розділу.....	125
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	127
4.1. Розробка блок-схеми автоматизованої лінії для обробки низу взуття.....	127
4.2. Розробка конструкції модуля орієнтації плоских деталей низу взуття.....	130
Висновки до 4-го розділу.....	135
ВИСНОВКИ.....	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	138
ДОДАТКИ.....	151

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МЗП – магазинні пристрої;	завантажувальні	$F_{т.п}$ – сила тертя повітря об поверхню деталі, Н;
БЗП – бункерні пристрої;	завантажувальні	V – швидкість потоку повітря, м/с;
СУ – система управління;		C – коефіцієнт аеродинамічної сили;
ТО – технологічна обробка;		$C_{оп}$ – коефіцієнт лобового опору;
ПП – позиція переорієнтації;		S – площа поверхні, м ² ;
ПЗ – позиція завантаження;		τ_0 – дотичні напруження, Па;
d_n – середня товщина нерівностей, м;		p – тиск повітря, Па;
c – середня ширина западин нерівностей, м;		ρ – густина повітря, кг/м ³ ;
h_n – середня висота нерівностей, м;		$F_{тр}$ – сила тертя, Н;
t_n – середній крок нерівностей, м;		m – маса деталі, кг;
α_n – середній кут нахилу нерівностей, град;		f – коефіцієнт тертя;
t_i – крок нерівностей, м;		Q – секундна масова витрата повітря, кг/с;
h_i – глибина окремих западин, м;		$F_{ін}$ – сила інерції, Н;
d_i – товщина окремого виступу, м;		\ddot{x} – прискорення, м/с ² ;
d_{oi} – товщина окремого виступу біля його основи, м;		d_{con} – діаметр сопла, м;
h_c – середня глибина западин, м;		γ – коефіцієнт стиску струменя;
t_c – середній крок нерівностей, м;		n_c – кількість сопел;
d_c – середня товщина виступів, м;		D – внутрішній діаметр впускного патрубка, м;
n – кількість западин на вимірюваній довжині;		G – вага зразка, Н;
d_o – середня товщина виступів біля їхньої основи, м;		t – час контролю, с;
$U_{жс}$ – напруга живлення датчика, В;		

- δ – товщина деталі, м;
- h – величина зазору між поверхнею камери і деталлю, м;
- H – віддаль між несучими поверхнями камер, м;
- F – зусилля переміщення деталі на позиції контролю, Н;
- α – кут нахилу сопел, град;
- l – довжина деталі, м;

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. 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 [1]. 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), Bitlissli B. (Туреччина) та інші.

Існуючі методи контролю положення плоских деталей за властивостями поверхонь [2] 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 та 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, виконання технічної та конструкторської документації виконувалося за допомогою систем автоматизованого проєктування AutoCAD 2018. Експериментальні дослідження зусилля переміщення деталі на позиції контролю, проведені на спеціально розробленому експериментальному стенді з використанням тензометрії, фото- та відеозйомки, методів математичного планування експерименту. Для реєстрації та обробки даних з датчиків розроблено програмне забезпечення на мові C в програмному середовищі Arduino IDE, для плати Arduino Uno R3 на основі мікроконтролера Atmega328. Вимірювання нерівностей та вивчення поверхонь шкіряних деталей виконувались відомими методами [3, 4] на цифровому електронному USB мікроскопі UKC 1000X. Аналіз та обробку експериментальних даних здійснено з використанням системи математичного моделювання MathCAD 15 та прикладної програми Microsoft Office Excel 2020.

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 визначати 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 підошви 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, Польща, 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 науково-метричну 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 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ РОБОТИЗАЦІЇ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ ВПОРЯДКУВАННЮ СЕРЕДОВИЩА

1.1. Стан та перспективи розвитку роботизації у взуттєвій промисловості

Можливості традиційних засобів автоматизації великою мірою не відповідають особливостям багатьох трудомістких технологічних процесів, які виконує людина в сучасному промисловому виробництві. Наприклад, такі операції, як завантаження та розвантаження робочих позицій технологічних машин, складування, пакування виробів, фарбування та очищення поверхонь, міжопераційне транспортування, комплектація деталей та інші не вимагають високої кваліфікації робітника, але пов'язані з виконанням складних просторових рухів матеріалів та знарядь праці, які нагадують рухи людини і не піддаються механізації та автоматизації за допомогою традиційних методів.

Якісно новим вирішенням проблеми інтенсифікації виробництва є створення нових, прогресивних технологічних процесів, розробка високопродуктивного обладнання та засобів гнучкої автоматизації. До таких засобів належать промислові роботи [5, 6].

Інтерес до цього виду обладнання у світі постійно зростає і на сьогоднішній час робототехніці приділяється велике місце у технічній літературі.

Більшість публікацій у цій галузі присвячено проблемі створення самих роботів, удосконаленню їх окремих систем та механізмів, містить приклади застосування у промисловості [7-34].

Останнім часом з'явилися роботи, в яких проводиться аналіз окремих напрямків цієї важливої технічної проблеми: розробка технологічних

роботизованих комплексів, підготовка виробництва для його роботизації, тощо [35-46].

Але, в основному, ці роботи належать до роботизації машинобудівної та приладобудівної промисловості.

Значно менше робіт присвячено роботизації виробничих процесів легкої промисловості, у тому числі взуттєвого виробництва, і з'явилися вони лише останнім часом.

Застосування промислових роботів для складання взуття відображено у роботах [47-51], для деяких оздоблювальних операцій – в роботі [52].

В роботі [23] розглядаються можливості впровадження роботів у виробництві та накопичений досвід не тільки в Іспанії, а й в інших країнах. Автор наводить перелік виробничих процесів, на яких можуть бути застосовані промислові роботи у взуттєвому виробництві. Такими процесами є: накладення та кріплення устілок, занурення задників, зволоження підносків, затягування носка взуття, вз'єрошування кромки, нанесення клею, накладення підошв, таврування, апретування взуття.

Завдання економічної доцільності застосування промислових роботів на деяких операціях взуттєвого виробництва вирішуються в роботі [53].

Більш докладно проблема автоматизації допоміжних операцій при обробці та складанні деталей взуття розглядається в роботі [54]. Автори виконали аналіз операцій обробки взуттєвих та деяких шкіргалантерейних деталей і показали, що значного підвищення продуктивності взуттєвого та шкіргалантерейного обладнання можна досягти зменшенням частки допоміжного часу в загальному балансі циклового часу, що значно перевищує машинний час.

В роботі зазначено, що завдання автоматизації операцій типу "завантажити-розвантажити", "зняти-покласти", "вкласти-вийняти", наразі вирішується такими пристроями:

- вбудованими у технологічні машини у вигляді їхньої складової частини (бункерів, накопичувачів, магазинів, автооператорів);

- автономного типу, з аналогової систем автоматичного управління та невеликим числом ступенів рухливості (зазвичай не більше трьох) автооператорів;

- автономного типу з цифровою системою автоматичного управління та числом ступенів рухливості, досягаючих шести і більше – промислових роботів.

Прикладів застосування засобів робототехніки у взуттєвому виробництві вже є досить багато. Наприклад, в Європі на підприємствах консорціума ROBOFOOT діють автоматичні лінії CIMAC з виробництва чоловічого взуття клейового методу кріплення, де операції "взяти устілку", "накладення основної устілки на колодку", "кріплення основної устілки на колодці", "взяти колодку", "затягування носка взуття", "перевертання підошви", "накладання підошви", "знімання взуття з колодки", виконуються засобами робототехніки [26, 27].

В окремих видах обладнання для обробки деталей низу взуття застосовуються такі елементи робототехніки, як модулі організації середовища магазинні завантажувальні пристрої (МЗП) та бункерні завантажувальні пристрої (БЗП) з автоматичними штовхачами або захватними пристроями, класифікація яких наведена в роботі [55].

Розроблені, освоєні в серійному виробництві та програмні промислові роботи, що застосовуються в даний час, працюють за жорсткою програмою.

Виходячи з цього, для нормального функціонування робота, що працює за жорсткою програмою, весь технологічний процес та конкретні види технологічного обладнання мають бути доопрацьовані з урахуванням участі робота у виконанні необхідних технологічних операцій. Основним напрямом доопрацювання технологічного устаткування є створення спеціальних пристроїв для впорядкування середовища з яким має працювати промисловий робот, тобто дозування, орієнтування, пакетування, касетування, координування, фіксація об'єктів роботизації [56].

Підготовка впорядкованого середовища має важливе значення при виборі типу промислового робота, номенклатури обладнання, загального

компонування робототехнологічного комплексу для роботи будь-якого технологічного процесу.

Продуктивність, надійність роботи, а також переналаштування програмного промислового робота можна суттєво підвищити, якщо виділити процеси завантаження, орієнтування, касетування та транспортування об'єктів роботизації (в зоні обслуговування їх промисловими роботами) до самостійної групи операцій, не пов'язаних між собою.

Створення такого впорядкованого середовища, для якого характерна наявність, належність та займане у просторі необхідне положення об'єктів роботизації, здійснюється за допомогою орієнтуючих і накопичувальних пристроїв [57].

Однак у ряді випадків активна цілеспрямована взаємодія робота з реальним навколишнім середовищем може будуватися тільки на підставі інформації про властивості та стан її елементів у робочій зоні. Зіставлення цієї інформації з аналізом "стану" самого робота, його виконавчих органів щодо об'єктів, що обслуговуються, цілеспрямовано формують оптимальні дії промислового робота. Основні параметри стану робота (положення та швидкість переміщення його елементів, зусилля у ланках та ін.) та середовища (положення та орієнтація предметів, їх форма, параметри збурень, які надходять на робот у процесі його роботи) визначаються так званими сенсорними пристроями промислового робота, що становлять основу інформаційної системи його сприйняття. Розрізняють сенсорні пристрої внутрішньої та зовнішньої інформації. Сенсорні пристрої внутрішньої інформації – це здебільшого перетворювачі механічних параметрів (переміщень, обертань, зусиль, тисків, крутних моментів) в електричні сигнали, які застосовуються в системах управління об'єктами інших типів. Сенсорні пристрої зовнішньої інформації призначені для отримання відомостей про стан зовнішнього середовища, його властивості та параметри, необхідні для управління роботом при виконанні ним певних технічних операцій. Інформація про зовнішнє середовище збирається за допомогою тактильних, оптичних,

ультразвукових, пневматичних та інших датчиків. Промислові роботи, оснащені сенсорними пристроями, називають адаптивними роботами. Вони будуть застосовуватися для управління обладнанням, автоматизації складання, заміни операторів середньої кваліфікації при виробництві деталей по окремим замовленням, а також для автоматизації процесів управління виробництвом [58].

Інтелектуальні роботи, завдяки обладнанню їх керуючими ЕОМ зможуть самостійно координувати свої дії зі сприйняттям форми, розмірів, стану, якості та положення захоплюючих об'єктів. Ці роботи будуть придатні для використання в системах керування зі зворотним зв'язком. Характерна їх властивість-здатність до адаптивного перепрограмування.

Світова потреба в адаптивних та інтелектуальних роботах буде безперервно зростати. Однак необхідно враховувати те, що виробництво вже сьогодні потребує величезної кількості програмних, а в окремих випадках адаптивних промислових роботів.

1.2. Визначення положення об'єктів роботизації – невід'ємний елемент впорядкування середовища

Розробці та дослідженню методів та пристроїв для орієнтування штучних об'єктів роботизації присвячено велику кількість робіт. Більшість з них відноситься до орієнтування деталей в машинобудівній і приладобудівній промисловості [27, 40-46, 62, 66, 76].

Частина робіт відноситься до орієнтування деталей у взуттєвому виробництві [53-57]. Фундаментальні дослідження з розв'язання задач автоматичного орієнтування взуттєвих деталей за геометричними ознаками виконано у роботах [59-61].

Завдання орієнтування включає елементи проблеми розпізнання об'єктів, зокрема розпізнання (або контролю) положення об'єктів по відношенню до робочих органів технологічних машин або захватних органів промислових роботів.

Під контролем положення розуміють процес визначення відповідності фактичного становища, займаного деталлю в даний момент часу в орієнтуючій заданій позиції. Кожен контрольний орган визначає відповідність параметра деталі, який у вигляді інформації надходить як сигнал на виконавчий механізм, який змінює дане положення деталі на необхідне, або сигналізує про правильність положення [74].

Кількість та якість інформації, що надходить від представленого до розпізнання об'єкта, визначається кількістю, типом та технічними можливостями (роздільна здатність) сприймаючих елементів. З метою спрощення конструкції сприймаючих елементів, підвищення їх надійності та економічності намагаються представити об'єкт розпізнання як масу деяких характерних властивостей, ознак орієнтування. Такий відносний опис виробу, на відміну від абсолютного, істотно полегшує вирішення завдання [63, 77].

Перелік характеристик штучних об'єктів роботизації або їх ознак орієнтування, які забезпечують можливість їх орієнтування, наведено в роботі [64].

Такими ознаками є властивості асиметрії деталей:

- форми;
- фізичні властивості;
- положення центру мас;
- властивості поверхонь.

Деталі з асиметрією форми діляться на такі, що мають асиметрію зовнішньої поверхні (виступи на торцях, пази на циліндричних поверхнях та ін.) та асиметрію внутрішніх поверхонь. Деталі з асиметрією фізичних властивостей мають асиметрію магнітних, електричних, пружних та інших властивостей.

Деталі, що мають асиметрію положення центру мас, поділяються на деталі, в яких центр мас збігається з геометричним центром деталі та у яких центр мас не збігається з геометричним центром деталі.

Деталі з асиметрією властивостей поверхонь підрозділяються на такі, що мають асиметрію твердості, шорсткості, відбивної здатності, топографії, пружності, щільності, електропровідності, кольору та інші фізичні властивості поверхонь [66].

Залежно від характеристик, для кожного конкретного об'єкта роботизації можна вибрати один із відомих методів контролю за його положенням [78].

Контроль положення деталі на позиції орієнтування може бути пасивним (калібри для контролю розмірних характеристик деталей) чи активним (з використанням датчиків як сприймаючих елементів для подачі керуючих сигналів на виконавчі механізми).

При активному контролі органи управління реагують на задані характеристики деталі і передають інформацію у вигляді сигналу на виконавчий механізм, що змінює положення деталі на задане (у програмних схемах) або сигналізує про досягнення деталлю заданого положення (у рефлексних схемах) [2].

Контроль положення деталей можливий як у процесі переміщення деталі, так і в тому випадку, коли деталь знаходиться у певному нерухомому стані на позиції орієнтування.

Найбільш простими і поширеними є контрольні органи, які представляють собою різного роду калібри (форми, ваги та ін.).

Контрольні органи інших принципів дії є датчиками (фотоелектричні, пневматичні, тактильні, магніострикційні та ін.) з відповідним необхідним перетворенням і посиленням сигналу.

1.3. Особливості контролю положення деталей взуття

Деякі деталі взуття є досить жорсткими та симетричними (взуттєва фурнітура, цвяхи, деякі деталі з пластмас та ін.) та для контролю їх положення застосовуються ті ж методи, що й для контролю положення деталей у машинобудівній та приладобудівній промисловостях. Але для більшості взуттєвих деталей ці методи не придатні.

Більшість деталей взуття обробляється і надходить на складання в плоскому вигляді і тільки в процесі складання взуття приймає просторові форми [68].

Автоматичне орієнтування плоских деталей в загальному випадку є більш важким завданням, ніж орієнтування деталей форми тіл обертання. Відбувається це тому, що плоскі деталі можуть мати більшу кількість різних положень [65].

Автоматичне орієнтування плоских деталей взуття ускладнюється ще рядом причин: невеликою жорсткістю деталей, складністю конфігурації, неточністю розмірів, асиметрією властивостей поверхонь, великою кількістю типорозмірів, парністю деталей тощо [66].

Необхідність контролю положення плоских деталей взуття за асиметрією властивостей поверхонь обумовлена двома причинами:

1. Наявністю різної фактури, шорсткості та ворсистості лицьової та виворітної сторін деталей.

2. Парністю деталей взуття, тобто наявністю дзеркальних лівої та правої деталей, що виключає заміну контролю за асиметрією властивостей поверхонь відомими методами контролю за геометричними ознаки.

Для підтвердження цього розглянемо приклад, коли необхідно подати шкіряну підшву на позицію технологічної обробки (ТО) носком вперед і бахтарм'яною стороною вверх (рис. 1.1).

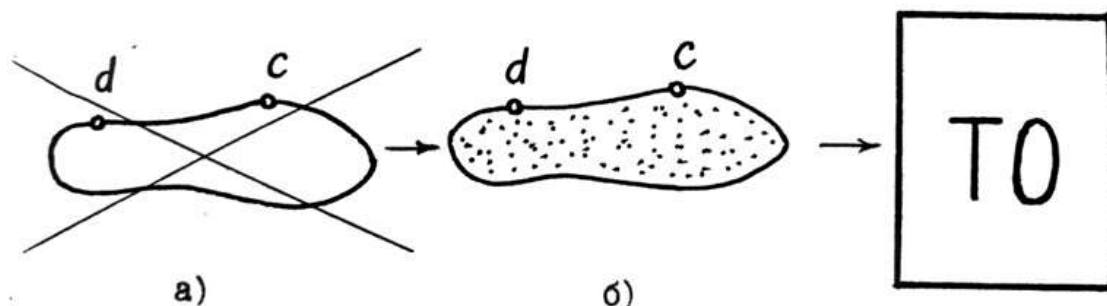


Рис. 1.1. Можливі положення парних деталей

На рис. 1.1, б показано ліву підошву, яка зорієнтована за геометричними ознаками відомими способами [67] і положення якої відповідає поставленому завданню (бахтарм'яною стороною вверху).

На рис. 1.1, а показана права підошва тієї ж пари взуття, положення якої за геометричними ознаками аналогічне положенню лівої підошви, оскільки положення контрольних точок d і c збігається. Але при цьому не виконана друга вимога завдання, оскільки підошва знаходиться в положенні "бахтарм'яною стороною вниз".

1.4. Методи контролю положення плоских деталей за асиметрією властивостей поверхонь

У приладобудуванні та машинобудуванні зустрічаються плоскі деталі, що мають в основному два типи асиметрії властивостей поверхонь:

1. Коли одна поверхня має діелектричні властивості, а протилежна металізована.
2. Коли одна поверхня гладка, а протилежна має регулярно розташовані на ній нерівності правильної геометричної форми (отвори, виступи, виїмки, пази і т.п.).

На рис. 1.2 показані приклади таких деталей: на рис. 1.2, а – плоска кругла керамічна пластинка, металізована з одного боку, що застосовується для виготовлення радіодеталей; на рис. 1.2, б – плоска деталь з паралельними прямокутними виступами на одній з поверхонь (наприклад, деталь корпусу інтегральної схеми).

У техніці існують пристрої контролю стану і орієнтування таких деталей [70, 71].

Враховуючи, що деталі взуття виготовляються переважно тільки з діелектричних матеріалів, крім металізованої з одного боку штучної шкіри, що застосовується для спеціального взуття, описаний в [70] пристрій можна застосувати лише в тому випадку, якщо на одну з поверхонь деталі взуття нанести металізовані мітки.

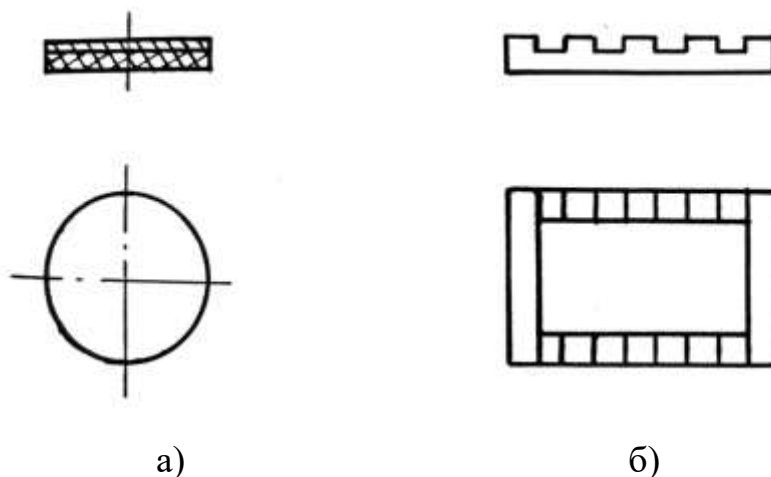


Рис. 1.2. Приклади деталей, які мають різні характеристики поверхонь, що застосовуються у приладобудуванні

Деякі деталі взуття (наприклад, підошви та каблучки для спеціального взуття) мають рифлення правильної геометричної форми і для контролю їх положення та орієнтації можуть бути застосовані пристрої, подібні до описаних у [71].

Найбільш близькими та прийнятними для взуттєвого виробництва є відомі у техніці пристрої для контролю положення та орієнтування плоских деталей, описані в роботах [72, 73].

На рис. 1.3 зображена схема пристрою для контролю положення та орієнтування плоских об'єктів роботизації (зокрема кахельних плиток) за фрикційними властивостями поверхонь [72].

Плитка 1 переміщається по вібрлотку 2 і потрапляє в комірку барабана 3. Барабан повертається і переносить плитку на протилежну сторону. Залежно від кута нахилу стінки комірки барабана, горизонтальної площини та коефіцієнта тертя поверхні плитки об поверхню стінки комірки, плитка, ковзаючи по стінці, потрапляє на переорієнтовний лоток 4 або лоток 5 і далі переміщається в орієнтованому положенні.

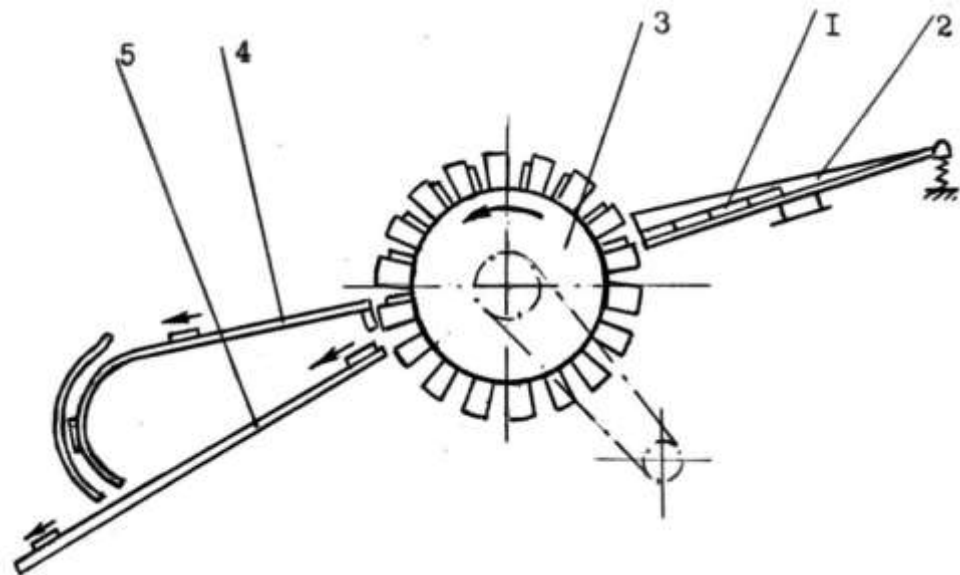


Рис. 1.3. Схема пристрою для контролю положення та орієнтування плоских деталей за фрикційними властивостями поверхонь

Такий пристрій можна застосувати у взуттєвому виробництві за умови роботи з деталями, поверхні яких мають суттєву різницю та незначні коливання величини коефіцієнтів тертя протилежних сторін. В іншому випадку ускладнюється їх орієнтування та розрахунок положення лотків 1 та 2 відносно барабана. Крім того, деталі мають бути досить жорсткими.

На рис. 1.4 зображена схема пристрою для орієнтованої подачі деталей з різною шорсткістю поверхонь [73].

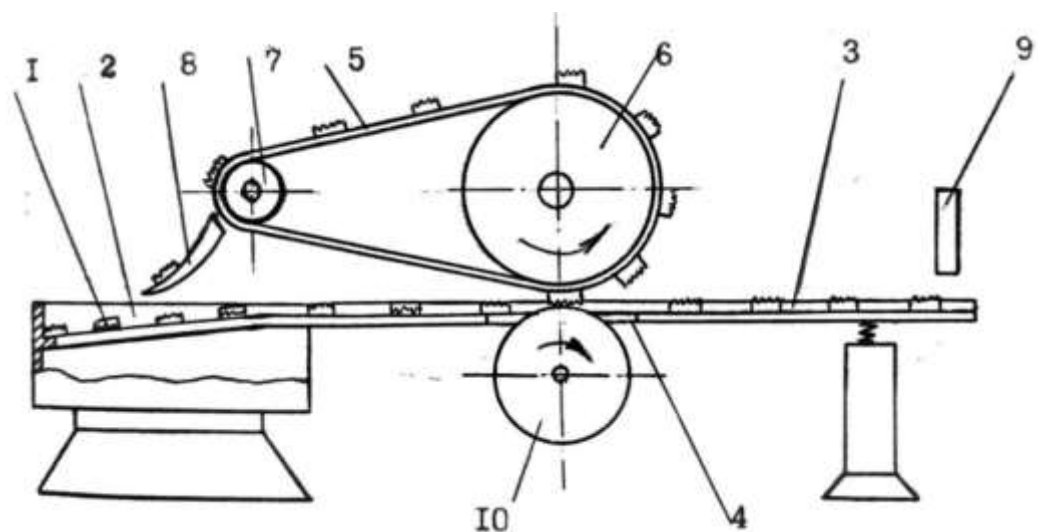


Рис. 1.4. Схема пристрою для орієнтованої подачі деталей із різною шорсткістю поверхонь

Деталі 1 з вібробункера 2 переміщуються по вібрлотку 3, в якому є вікно 4. Механізм контролю положення складається з нескінченної стрічки, виконаної з полімерного матеріалу, що електризується (наприклад, поліуретану), яка переміщається за допомогою великого шківів 6 і малого 7 над вікном вібрлотка. Під вікном є ролик 10, що обертається та притискає деталі до стрічки. Якщо деталь притиснеться до стрічки гладкою поверхнею, то вони утримуються на ній за рахунок ефекту вакуумно-молекулярного зчеплення, переносяться на лоток і скидаються в орієнтованому положенні у вібробункер. Правильно орієнтовані деталі переміщуються по вібрлотку в робочу зону промислового робота 9.

Пристрій можна застосувати для контролю за положенням дрібних взуттєвих деталей, наприклад, прикрас зі штучних матеріалів з лакованою лицьовою поверхнею.

Нам відома лише одна робота [2], яка присвячена дослідженню деяких властивостей поверхонь взуттєвих деталей, а також деяких способів контролю положення деталей по асиметрії властивостей поверхонь.

У ній зазначається, що найбільш характерними властивостями поверхонь плоских взуттєвих деталей, які можуть бути використані при розпізнанні лицьового і виворітного шару, слід враховувати щільність, пружність, колір, профіль, фактуру, електропровідність, а також здатність деяких матеріалів створювати заряд статичної електрики при зіткненні з діелектриками.

У відомих способах контролю збирання інформації про фактичне положення деталі здійснюють чутливі елементи датчики, що реагують на ті чи інші характеристики деталей. Отриману інформацію контрольні органи перетворюють на сигнал, який потім передається на виконавчі органи сепаруючих, переорієнтовуючих або виконуючих операції іншого виду пристроїв. Таким чином, сигнал, що отримується контрольними органами, є керуючим для наступних органів, механізмів або пристроїв.

При автоматичному контролі положення деталі за властивостями поверхонь можуть використовуватися датчики, принцип дії яких залежить від матеріалу деталі, властивостей поверхонь та етапу технологічного процесу.

Якщо всі деталі мають різну фактуру, ворсистість або шорсткість поверхонь, то можуть бути використані електростатичний (рис. 1.5), термоелектричний (рис. 1.6) і фотоелектричний (рис. 1.7) способи.

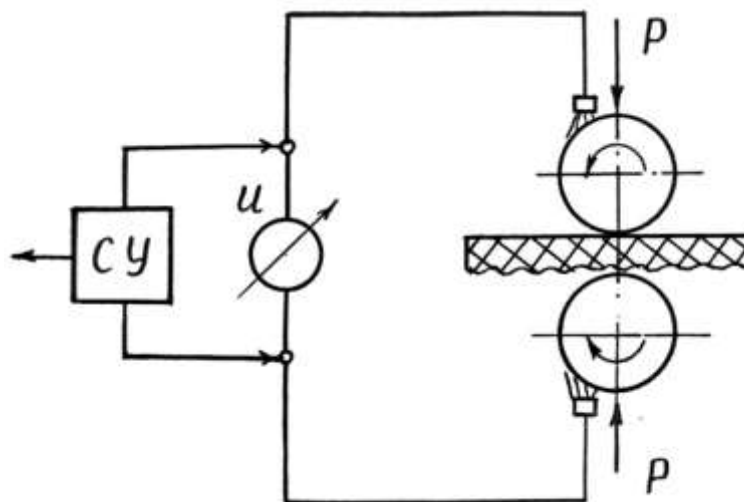


Рис. 1.5. Схема електростатичного способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

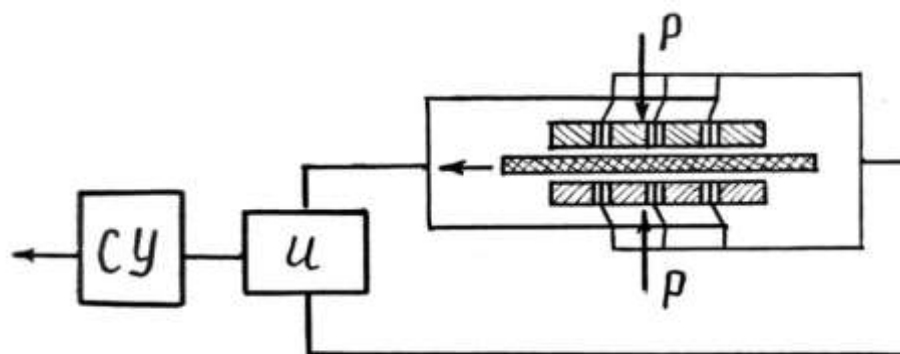


Рис. 1.6. Схема термоелектричного способу контролю за положенням плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

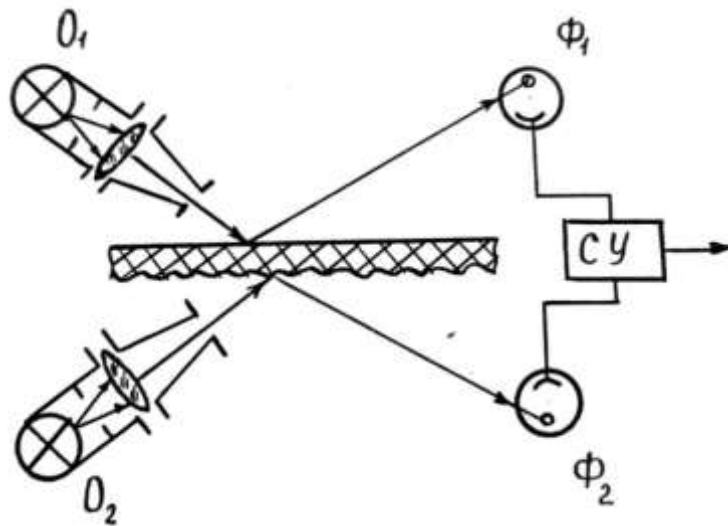


Рис. 1.7. Схема фотоелектричного способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Коли контролю за асиметрією властивостей поверхонь підлягають деталі, що мають різну щільність сторін, а отже, різну опірність входженню в неї голки або кульки, можна використовувати індуктивний, індукційний, ємнісний, реостатний, електронний способи (рис. 1.8).

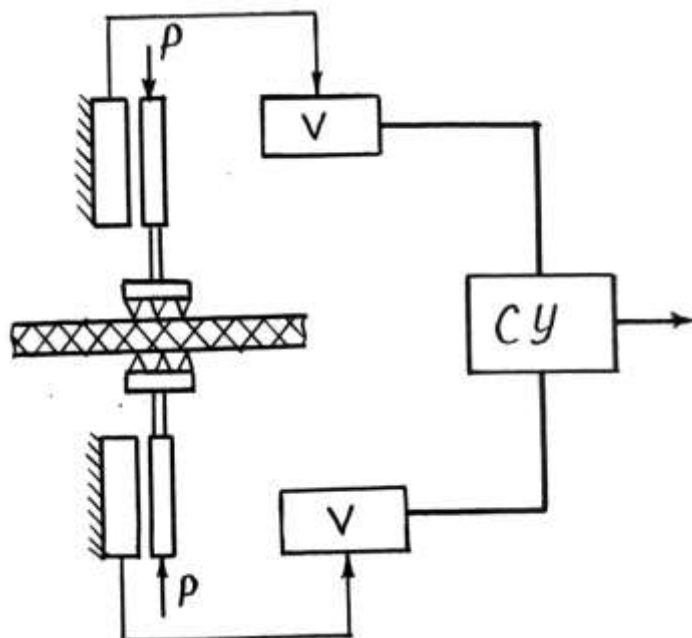


Рис. 1.8. Схема індуктивного способу контролю стану плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

При контролі положення деталей, що володіють різною пружністю лицьового та виворітного шару, можна використовувати акустичний спосіб із застосуванням ультразвукових датчиків, оскільки такі поверхні по різному поглинають і відбивають звукові хвилі (рис. 1.9).

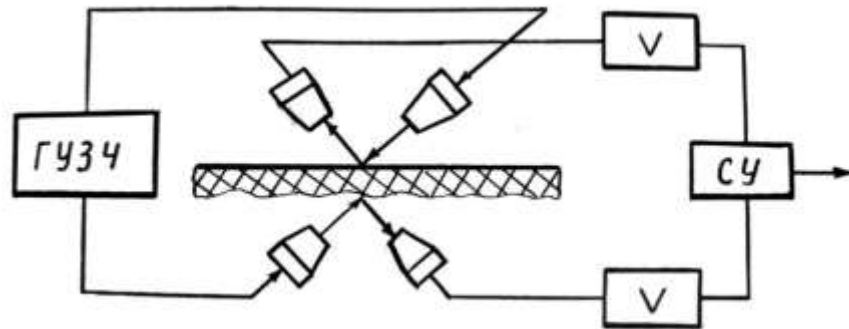


Рис. 1.9. Схема ультразвукового способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Проведені в роботі [2] дослідження показали такі можливості використання омичних опорів поверхневих шарів деталі для контролю її положення за властивостями поверхонь.

В цьому випадку використовувалися датчики спеціальної конструкції (рис. 1.10). Однак усі ці способи, описані в роботі [2] мають ряд недоліків.

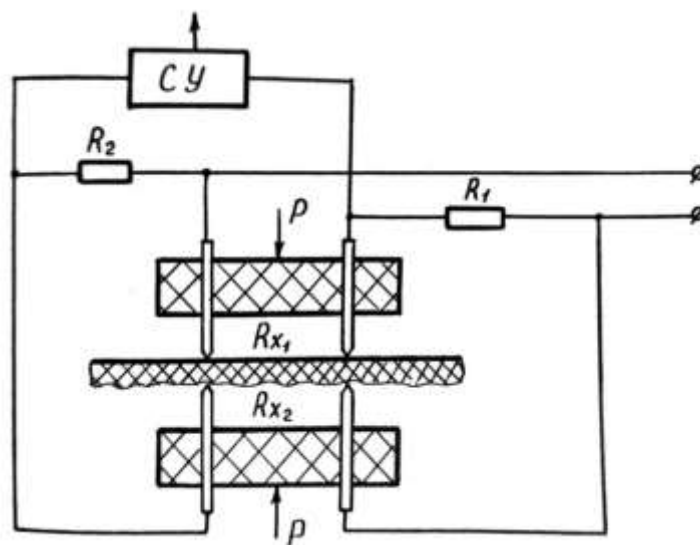


Рис. 1.10. Схема тензометричного способу контролю за положенням плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Електростатичний спосіб [75] придатний тільки для сухих волокнистих матеріалів - діелектриків. При реалізації термоелектричного способу має місце короткий термін служби датчиків, так як головки термопар в результаті тертя деталь швидко зношуються. Фотоелектричний спосіб важко реалізувати у виробничих умовах у зв'язку із запиленістю. При використанні акустичних датчиків важко виключити шкідливу дію ультразвукових хвиль на людину. Спосіб з використанням омичних датчиків застосовується тільки для зволжених деталей, покритих клейовою плівкою або сухих з наявністю вологої клейової плівки.

Крім зазначених недоліків, усі вони мають також три загальні, значні недоліки:

1) висока вартість через використання складних і дорогих пристроїв;

2) складність в експлуатації, оскільки потрібні висококваліфіковані спеціалісти для їх налагодження та обслуговування;

3) недостатня надійність, оскільки сигнал, отриманий від датчиків контролю, повинен пройти до виконавчого органу, через порівнювальну систему, підсилювач, виконавчий механізм, що ускладнює пристрій та знижує надійність способу, так як збої в роботі окремих елементів призводять до низької працездатності способу в цілому або, у деяких випадках, його повній відмові.

1.5. Аналіз пневмомеханічних способів контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь

Пневмомеханічні способи контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь розглянуті в роботах [79, 80, 81], на один з яких нами отримано патент на корисну модель, засновані на використанні асиметрії фрикційних властивостей або топографії протилежних поверхонь. У окремому випадку в процесі контролю положення за допомогою пристроїв, що

реалізують ці способи, можливе одночасне транспортування деталі на робочу позицію технологічного обладнання або на позицію переорієнтування [82]. Дослідження даних способів відповідає паспорту спеціальності 05.05.10 - Машини легкої промисловості і галузі знань "Механічна інженерія".

1.5.1. Контроль положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь

Фрикційні властивості поверхонь будь-яких матеріалів характеризуються коефіцієнтом тертя, який залежить від пружних властивостей матеріалу, шорсткості поверхонь, питомого навантаження та багатьох інших параметрів, які характеризують молекулярну взаємодію поверхонь, що труться у зоні контакту [83].

Дослідженню фрикційних властивостей матеріалів, що застосовуються для деталей взуття, присвячено кілька робіт [84-86]. 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. 1.11 зображено схему контролю положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостям поверхонь за допомогою двох фрикційних валків [79].

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, поміщають 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.

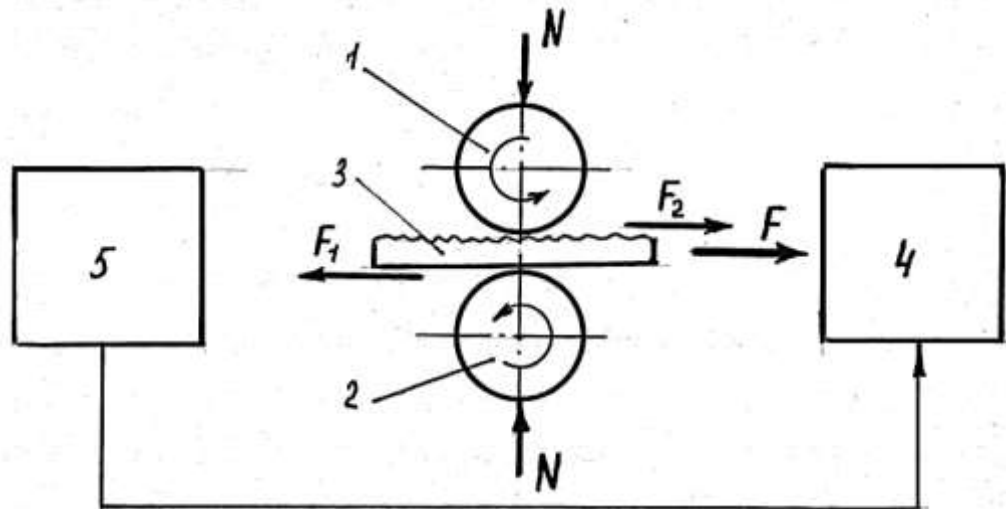


Рис. 1.11. Схема контролю положення плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь

Таким чином, у процесі контролю положення деталь переміщається 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 $F_2 > F_1$

$$F = F_2 - F_1 = N(f_2 - f_1) \quad (1.1)$$

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.

Розрахунки пристроїв для контролю, що реалізують цей спосіб, не викликає більших труднощів, тому що фрикційні властивості взуттєвих матеріалів, а також матеріалів для валків досить повно вивчені [84-86].

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.

1.5.2. Контроль положення плоских деталей низу взуття за асиметрією топографії поверхонь

Багато натуральних і штучних матеріалів, які використовуються у взуттєвому виробництві, крім інших відмінностей, мають різні нерівності (різну топографію), а також різну ворсистість на лицьовий і виворітній поверхнях, які можуть бути природними, створюватися штучно з декоративною або іншою спеціальною метою в процесі обробки [68, 69].

Відмінність полягає у величині нерівностей і ворсу, їх розташуванню на поверхнях, а також у їхніх пружних властивостях.

Це створює можливість здійснити контроль положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою способів, заснованих на використанні зазначених ознак.

1.5.2.1. Контроль положення плоских деталей низу взуття за допомогою струменів повітря

На рис. 1.12 зображена схема контролю положення плоских деталей низу взуття за асиметрією нерівностей і ворсистості поверхонь з допомогою струменів повітря [81].

В основі способу поставлено задачу орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь за допомогою струменів стиснутого повітря, які виштовхують деталь з позиції контролю в напрямку дії струменів повітря на поверхню з більшою шорсткістю, а значить з більшим опором нерівностей.

На схемі (рис. 1.12) 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.

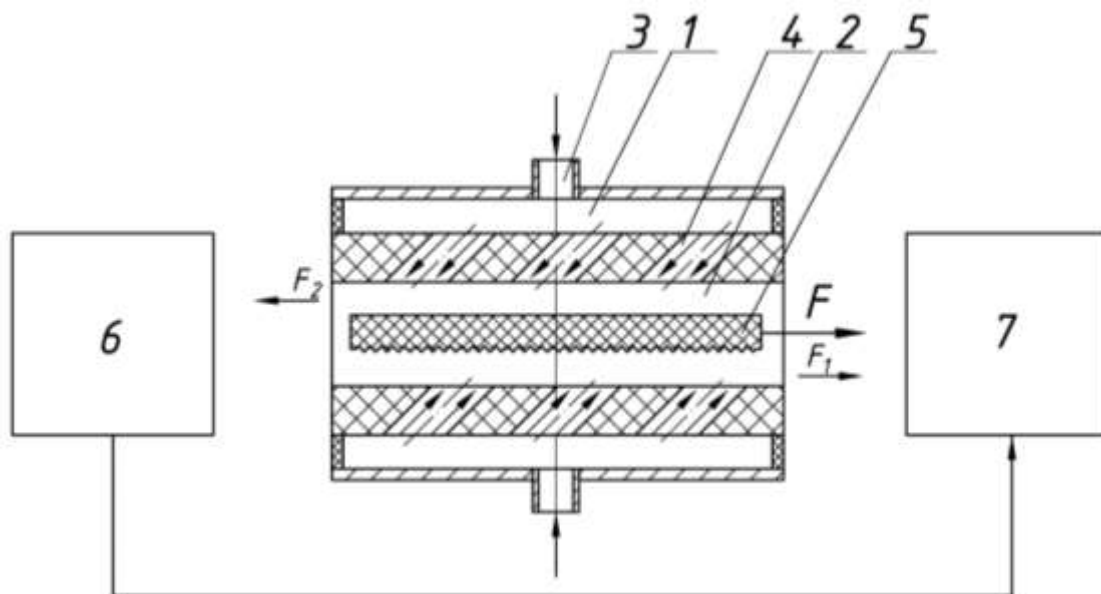


Рис. 1.12. Схема контролю положення плоских деталей низу взуття за асиметрією шорсткості поверхонь з допомогою струменів повітря

Усі зазначені вимоги для розташування і розмірів отворів необхідні для створення рівнозначних умов впливу струменів повітря на гладку (верхню) і шорстку (нижню) поверхні деталі 5.

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 [76].

Сили F_1 і F_2 (рис. 1.12) 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:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2. \quad (1.2)$$

В результаті деталь буде переміщуватись на позицію обробки 6 чи на позицію переорієнтування 7.

1.5.2.2. Контроль положення плоских деталей низу взуття за допомогою вакуумної системи

Контроль положення плоских деталей взуття за асиметрією нерівностей і ворсистості поверхонь за допомогою вакуумної системи [80] полягає в тому, що до деталі 1 (рис. 1.13), яка знаходиться на позиції контролю, перпендикулярно до її поверхонь, підводять дві однакові присоски 2, які працюють за принципом дросельних пневматичних перетворювачів, [87-89] підключених до одного джерела вакууму. Відсмоктування повітря з порожнин присосок здійснюється через малі калібровані отвори дроселів з площею перерізу S_o . Розрідження в порожнинах присосок P_1 і P_2 залежать відповідно від співвідношення розмірів умовних зазорів між контактними поверхнями присосок та деталі S_1 і дроселя S_o ; S_2 і дроселя S_o [87].

Після контакту поверхонь присосок з протилежними поверхнями деталі між цими поверхнями і присосками виникають зусилля присмоктування, відповідні розрідження в порожнинах присосок.

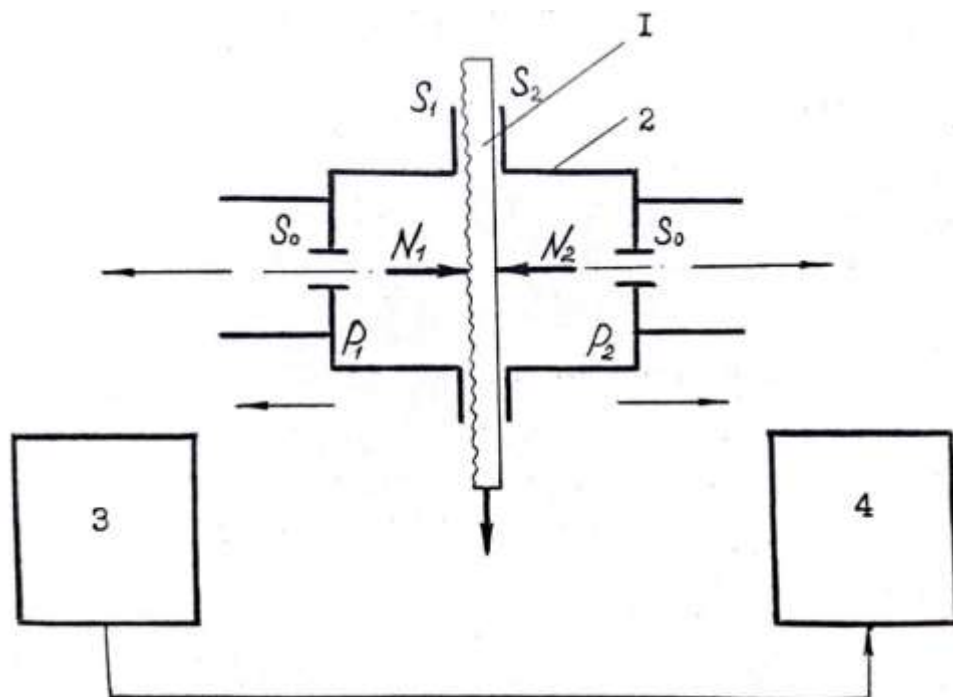


Рис. 1.13. Положення присосок і деталі в момент контролю

Умовою контролю є виникнення різниці зусиль присмоктування до протилежних поверхонь деталі. У цьому випадку після відведення присосок деталь залишиться на тій з них, у порожнині якої розрідження було більшим, і далі транспортуватиметься нею на робочу позицію технологічного обладнання 4 або на позицію переорієнтування 3.

Необхідною вимогою до матеріалів присосок є їх твердість, яка повинна бути значно більшою за твердість матеріалу деталі. В іншому випадку в процесі контролю робоча поверхня присоски деформуватиметься і заповнюватиме западини нерівностей поверхонь контрольованої деталі, тим самим зменшуючи різницю зусиль присмоктування ΔN , що погіршує умови контролю.

На рис. 1.14 зображено етапи контролю.

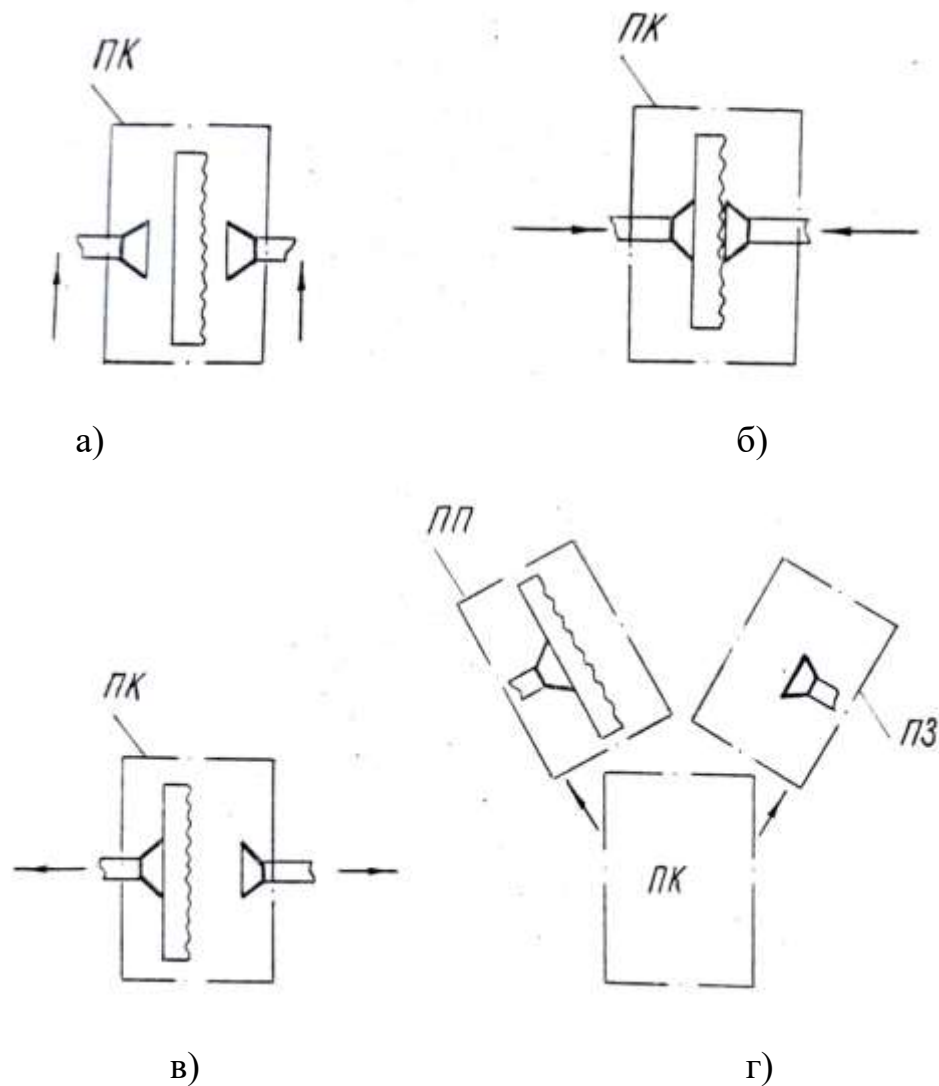


Рис. 1.14. Схема контролю положення плоских деталей низу взуття за асиметрією шорсткості поверхонь за допомогою двох присосок

На рис. 1.14, а) положення присосок та контрольованої деталі перед операцією контролю, на рис. 1.14, б) – те саме, у момент контролю, на рис. 1.14, в) те саме, після контролю, на рис. 1.14, г) те саме, після транспортування деталі з позиції контролю (ПК) на позицію переорієнтації (ПП) або завантаження (ПЗ) на робочу позицію технологічного обладнання. Стрілками показано напрямок руху присосок для досягнення необхідного положення об'єкта контролю.

Загалом, за схемою рис. 1.13, умову контролю в перший момент часу відведення присосок можна записати у вигляді:

$$|(N_1 - N_2)f| \geq kG, \quad (1.3)$$

де N_1 і N_2 - зусилля присмоктування присосок до поверхонь деталі; f - коефіцієнт тертя між робочою поверхнею присоски та поверхнею деталі; G - вага деталі; k - коефіцієнт запасу надійного утримання деталі.

1.5.3. Експериментальна перевірка застосування пневмомеханічних способів контролю

З метою перевірки працездатності описаних способів, були виготовлені моделі пристроїв, що реалізують ці способи контролю та проведені випробування з деякими найпоширенішими плоскими деталями низу взуття, що мають асиметрію властивостей поверхонь. На рис. 1.15, 1.16, 1.17 представлені моделі пристроїв. В таблиці 1.1 відображено результати випробувань. Методи контролю, що рекомендуються за результатами випробувань, зазначені в таблиці знаком "+".

Слід відмітити, що спосіб контролю положення плоских деталей низу взуття з асиметрією нерівностей і ворсистості поверхонь за допомогою вакуумної системи можна реалізувати у вигляді захвату промислового робота, який стає сенсорним з точки зору положення деталі за властивостями поверхонь.

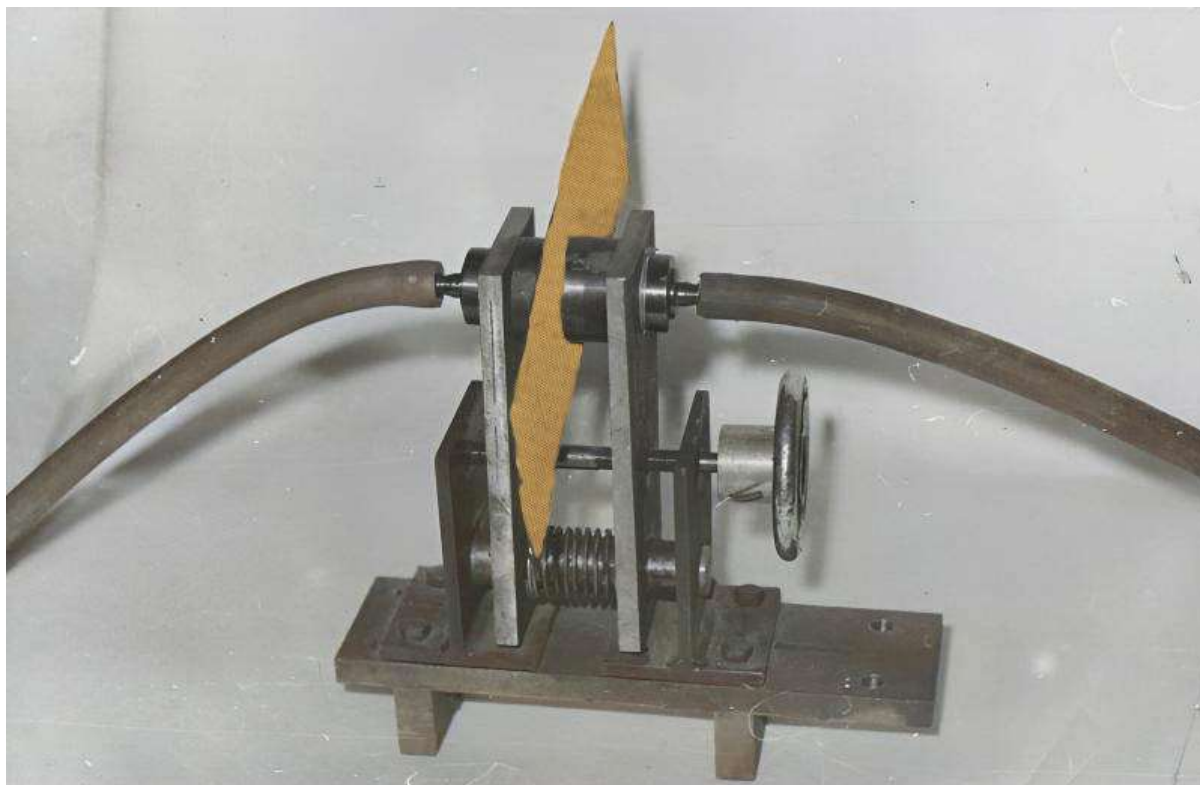


Рис. 1.15. Модель пристрою для контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою присосок

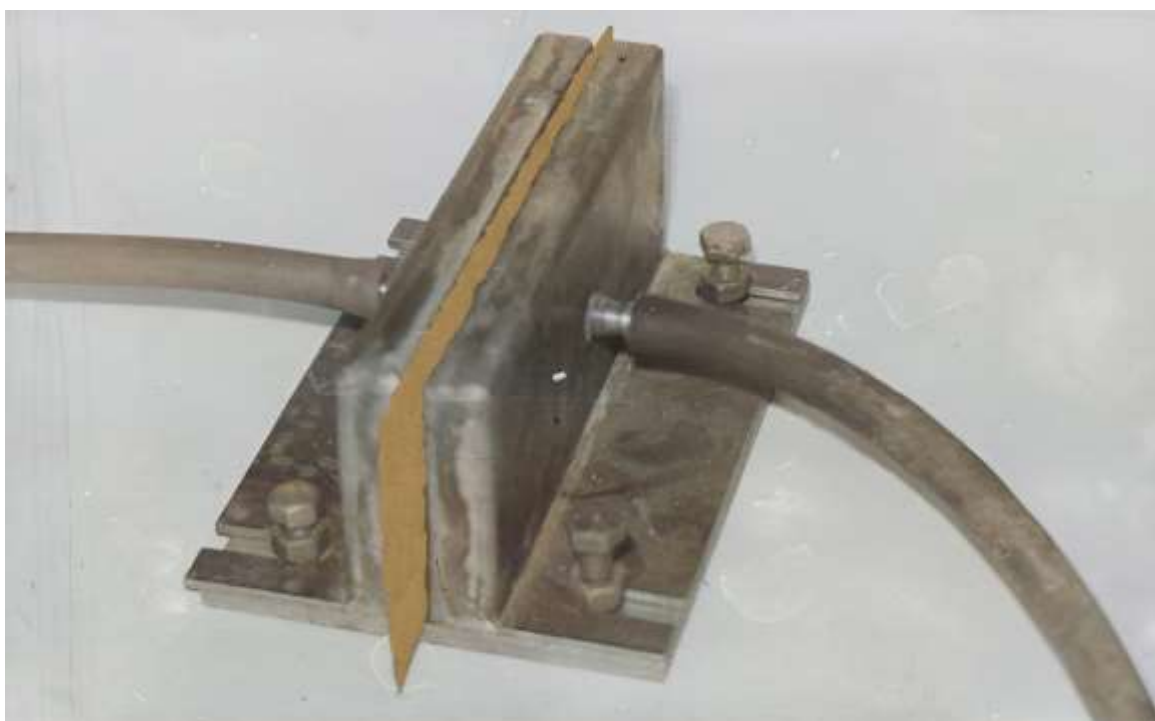


Рис. 1.16. Модель пристрою для контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря



Рис. 1.17. Модель пристрою для контролю положення і орієнтації плоских деталей низу взуття за фрикційними властивостями поверхонь

Таблиця 1.1

Результати експериментальної перевірки застосування пневмомеханічних способів контролю

Найменування деталі		Спосіб контролю		
		Фрикційними валками	Взаємодією струменів повітря	Присосками
1	2	3	4	5
1	Шкіряні підошви з гладкою ходовою поверхнею та скуйовдженою неходовою	+	+	-
2	Шкіряні підошви з тисненою ходовою поверхнею	+	+	+
3	Підошви з мікропористої гуми з рифленою ходовою поверхнею	-	+	+
4	Деталі низу з натуральних шкір	+	-	-

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
5	Деталі низу зі штучних матеріалів	+	-	-
6	Деталі низу зі штучного хутра	-	+	+
7	Екошкіра	+	+	+
8	Дубльований оксфорд	-	+	+
9	Деталі низу з матеріалу EVA	-	+	+

Спрощена схема руки робота з таким захватом показана рис. 1.18. Стрілки показують напрямок руху губок захвату, які представляють собою описані вище присоски, і руки робота. Орієнтування деталі відбувається модулем повороту руки робота в процесі переміщення деталі в зону обробки в залежності від того, на якій присосці залишиться деталь після їх розходження.

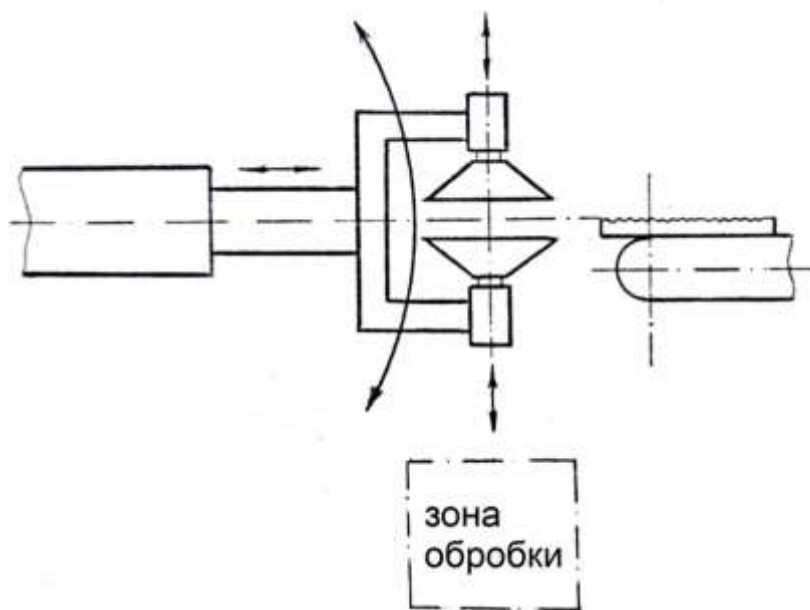


Рис. 1.18. Схема руки промислового робота з чутливим захватом для подачі на обробку деталей з різною шорсткістю поверхонь

Цей спосіб можна також реалізувати високопродуктивним пристроєм прохідного типу (рис. 1.19).

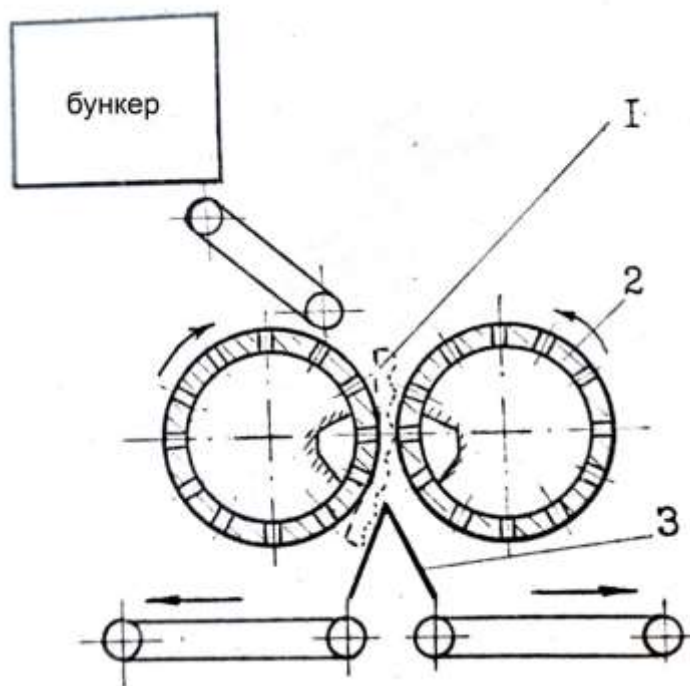


Рис. 1.19. Схема пристрою для контролю положення та орієнтації плоских деталей низу взуття з шорсткості поверхонь

Контрольована деталь 1 в процесі переміщення двома вакуумними барабанами 2 відхиляється одним з них (тим, який контактує з більш гладкою поверхнею деталі) на один із жолобів кутового орієнтуючого лотка 3, де орієнтується у правильне положення.

Висновки до 1-го розділу

1. Огляд наявних публікацій в напрямку роботизації взуттєвого виробництва показав, що вони присвячені, в основному, вивченню можливості застосування промислових роботів на тільки окремих операціях, а не в автоматизації технологічних процесів загалом.

2. 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.

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

4. 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.

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

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

7. Пошукові дослідження показали, що найбільш перспективним, з точки зору застосування, а також створення високопродуктивних контролюючих пристроїв прохідного типу є спосіб струменевої повітряної системи контролю на який ми отримали патент.

РОЗДІЛ 2

СТРУМЕНЕВА ПОВІТРЯНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ ЗА НЕРІВНОСТЯМИ ПОВЕРХОНЬ

2.1. Типізація поверхонь взуттєвих матеріалів за нерівностями

В процесі контролю положення плоских деталей низу взуття з асиметрією шорсткості поверхонь за допомогою струменів повітря струмені, розтікаючись по поверхні деталі, зустрічають опір нерівностей, які знаходяться на поверхні. Очевидно цей опір залежить від розмірів, форми і розташування нерівностей на поверхні деталі.

В даний час у взуттєвому виробництві використовується велика кількість натуральних та штучних матеріалів, поверхні яких не є гладкими, а мають нерівності, параметри яких різні на лицьовій та виворітній поверхнях цих матеріалів.

Вивчення можливості та умов визначення положення плоских деталей взуття з таких матеріалів за ознакою "лицьова сторона виворітна сторона" за допомогою струменевої повітряної системи ускладнено насамперед через велику різноманітність нерівностей, що у свою чергу виникає через різноманіття способів їх отримання, різного технологічного чи експлуатаційного призначення. У зв'язку з цим виникає потреба типізації цих поверхонь.

Типізацію поверхонь виконували за двома ознаками:

- за видом розташувань нерівностей на поверхні;
- за видом профілю нерівності.

Вимірювання нерівностей і визначення їх профілів та розташування на поверхнях деталей низу взуття виконувались відомими методами [3, 4] на цифровому електронному USB мікроскопі UKC 1000X (додаток В, рис. В1).

2.1.1. Характеристики поверхонь взуттєвих матеріалів

У взуттєвому виробництві плоскі деталі низу взуття отримують з наступних матеріалів [68, 69, 90]: натуральних шкір, синтетичних матеріалів, текстильних матеріалів (тканин, трикотажних полотен, нетканих полотен, штучного хутра, дубльованих текстильних матеріалів) картону, м'якої штучної шкіри.

Лицьовий шар шкіряних матеріалів в межах однієї топографічної ділянки відрізняється від виворітного мікро і макроструктурою. Різні властивості поверхонь лицьового та виворотного шарів деталі мають усі шкіряні матеріали верху, крім замші, велюру та нубуку, більшість необроблених деталей низу, за винятком виготовлених зі шкір особливої прокатки.

Особливий інтерес становлять поверхні шкіряних матеріалів після їх обробки: шліфування, скуйовджування, тиснення, двоїння [68, 69].

На рис. 2.1, а показано фотографію гладкої поверхні деталі з натуральної шкіри, на рис. 2.1, б – поверхні з нерівностями, на рис. 2.1, в – профіль поверхні.

Тиснення лицьової поверхні шкіряних деталей низу взуття, а також галантерейних шкір з декоративною метою також призводить до появи на ній нерівностей різного розташування та профілю.

Лицьова поверхня м'яких штучних шкір може бути гладкою, замшеподібною, матовою, лакованою, тисненою, шкіроподібною та друкованою. Виворітна поверхня відповідає поверхні основи [68].

Дати характеристику поверхонь усіх типів м'яких штучних шкір неможливо. Слід зазначити, що розташування нерівностей на поверхнях штучних шкір носить, переважно хаотичний (довільний) характер (крім штучних шкір з тисненою лицьовою поверхнею), а профіль нерівностей немає правильної геометричної форми.

Зовнішній вигляд м'яких синтетичних шкір добре імітують натуральну шкіру. Властивості поверхонь наближаються до властивостей поверхонь натуральних шкір.



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Фотографія поверхонь деталі з натуральної шкіри (а, б) та її профілю (в)

На рис. 2.2, а показано фотографію гладкої поверхні деталі зі штучної шкіри, на рис. 2.2, б – поверхні з нерівностями, на рис. 2.2, в – профіль поверхні.

Еко-шкіра – матеріал, який за зовнішнім виглядом, а також за фізико-механічними властивостями найбільш наближаються до натуральної шкіри. Властивості поверхонь максимально наближаються до властивостей поверхонь натуральних шкір [91, 92].

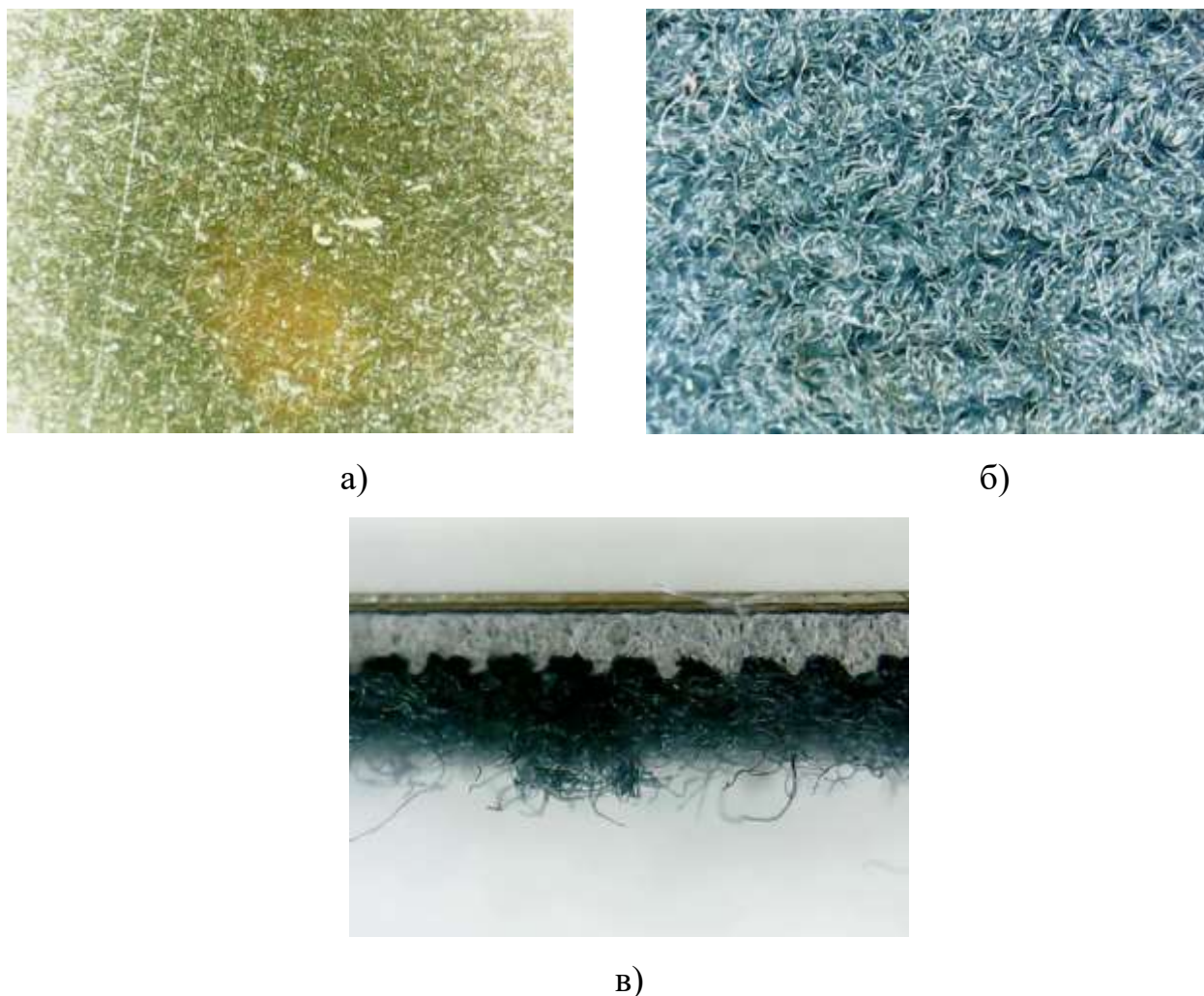


Рис. 2.2. Фотографія поверхонь деталі зі штучної шкіри (а, б) та її профілю (в)

На рис. 2.3, а показано фотографію гладкої поверхні деталі з еко-шкіри, на рис. 2.3, б – поверхні з нерівностями, на рис. 2.3, в – профіль поверхні.

Структура поверхні застосовуваних тканин може бути гладкою або рельєфною, що визначається переплетенням, щільністю та будовою пряжі, а також способом виготовлення [93].

Гладку поверхню мають бязь, шотландка, саржа, атлас, трико, оксфорд і т.д.

Матеріал оксфорд отримав більш широке застосування у взуттєвому виробництві на відмінну від інших матеріалів.

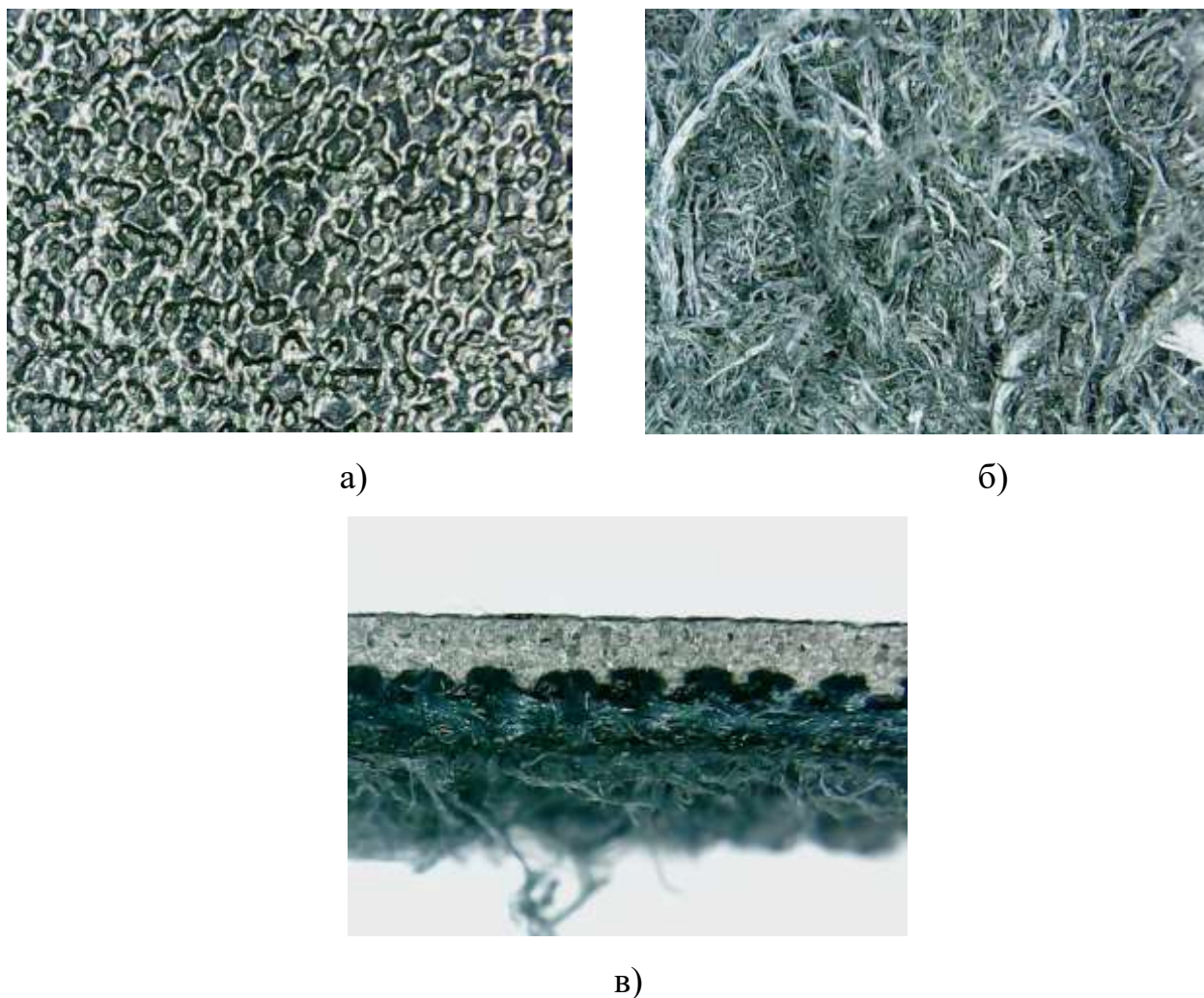
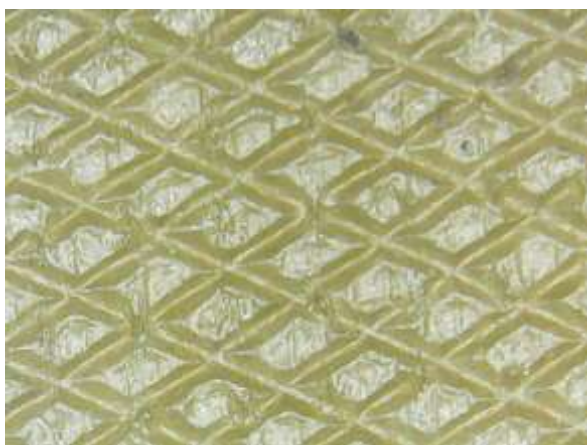


Рис. 2.3. Фотографія поверхонь деталі з еко-шкіри (а, б) та її профілю (в)

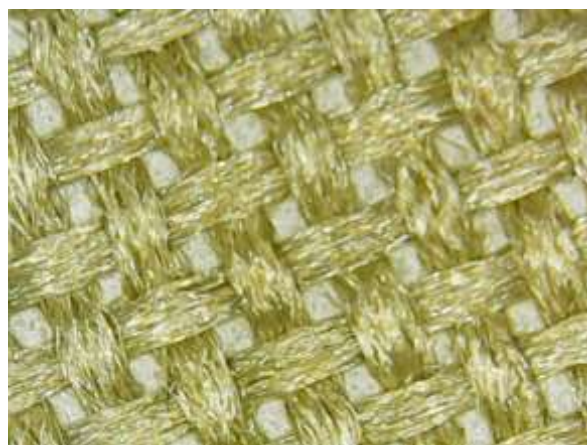
Оксфорд – це міцна, щільна, водонепроникна та практична тканина, яка виготовляється за допомогою спеціального кошикового плетіння. Щільність матеріалу може значно змінюватись, що ще більше збільшує спектр можливого застосування оксфорду [94].

При виготовленні оксфорду виробник передбачає, область застосування тканини. Саме тому матеріал перед продажем попередньо обробляється різними хімічними речовинами, що змінюють його, внаслідок чого роблять його вогнетривким, водовідштовхуючим або стійкішим до різних хімічних реагентів.

На рис. 2.4, а показано фотографію гладкої поверхні деталі з оксфорду, на рис. 2.4, б – поверхні з переплетенням, на рис. 2.4, в – профіль поверхні.



а)



б)



в)

Рис. 2.4. Фотографія поверхонь деталі з оксфорду (а, б) та її профілю (в)

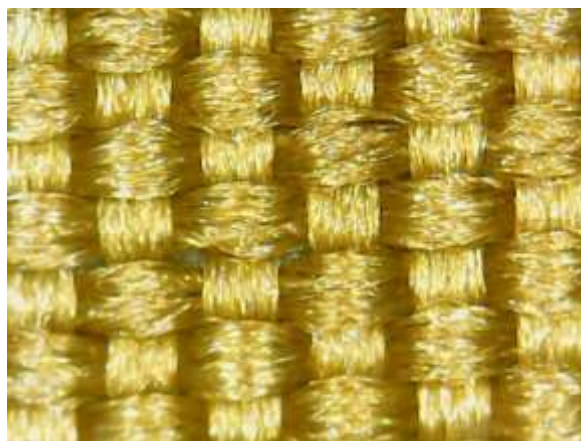
Також від характеру призначення тканини безпосередньо залежить склад та щільність матеріалу, тому при виробництві взуття часто використовують дубльований оксфорд.

На рис. 2.5, а показано фотографію лицевої поверхні деталі з дубльованого оксфорду, на рис. 2.5, б – поверхні з переплетенням, на рис. 2.5, в – профіль поверхні.

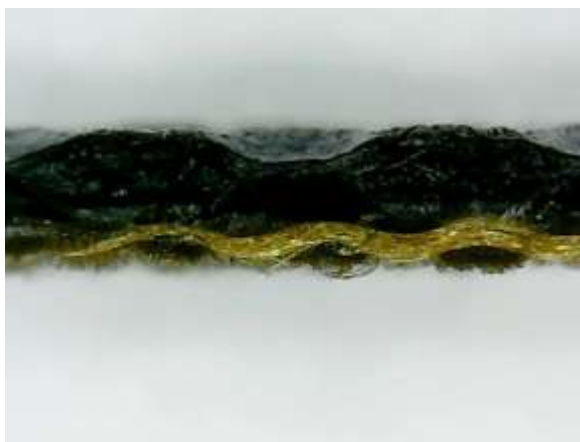
При прутковому способі виготовлення тканини виходять однополотні ворсові тканини з розрізним ворсом до 2 мм, плюш з ворсом висотою до 5-7 мм та штучне хутро з ворсом висотою понад 10 мм [95].



а)



б)



в)

Рис. 2.5. Фотографія поверхонь деталі з дубльованого оксфорду (а, б) та її профілю (в)

За структурою поверхні розрізняють рівно і різнобічні тканини. У рівнобічних тканинах будова, оформлення лицьової та виворітної сторін однакові. До різнобічних тканин відносяться тканини, у яких будова та оформлення лицьової сторони відрізняються від будови та оформлення виворітної сторони (вельвет, бобрик, байка, деякі драпи, замша та ін.).

Особливе місце в асортименті шовкових тканин займають ворсові тканини, що мають бавовняну основу та лавсановий або віскозний ворс. До таких тканин відносяться оксамит «Ларець» (ворс з лавсанових або з віскозних волокон).

Трикотажні полотна застосовують як для верху та підкладки взуття, так і для галантерейних виробів.

Поверхня трикотажу може бути рівною (головні та похідні переплетення) і рельєфною (пресові, ажурні та ін.). Вона також змінюється залежно від виду волокна, структури пряжі, переплетення, щільності та оздоблювальних операцій.

Трикотаж буває однобічним та різнобічним. Однобічний має однакові лицьову та виворотну сторони, а різнобічний – різні. На лицьовій стороні петельні палички перекривають дуги і протяжки, утворюючи поздовжні рубчики, а на виворотній – дуги і протяжки перекривають петельні полички і утворюють поперечну смугастість.

Особливий інтерес викликає плюшевий трикотаж, який має на вивороті плюшевий настил. Плюш з довжиною ворсу 16 мм нагадує штучне хутро, яке використовується для зимового взуття. Плюш із низьким ворсом може бути використаний для виробництва домашнього взуття [96].

Неткані полотна випускають із гладкою та начісною поверхнею, а також імітують вельвет та оксамит.

Значне місце у виробництві домашнього взуття займають неткані полотна, що мають на лицьовій стороні рельєфний малюнок з паст полівінілхлориду, дубльовані байкою.

Штучне хутро застосовується для підкладки в зимовому взутті та оздобленні. Виробляють його на тканинній, трикотажній та нетканій основах механічним та клейовим способами. Тканини хутра виробляють складним переплетенням прутковим і подвійним способами.

Штучне хутро характеризується властивостями волосяного покриву ґрунту та хутра в цілому. Висота ворсового покриву повинна бути не менше 7 мм, кут нахилу волокон від 18° до 65°, густина від 140 до 608 г/м².

На рис. 2.6, а показана фотографія розташування нерівностей на ворсистій стороні, на протилежній стороні - тканинній основі (рис. 2.6, б) та профіль поверхні деталі зі штучного хутра (рис. 2.6, в).

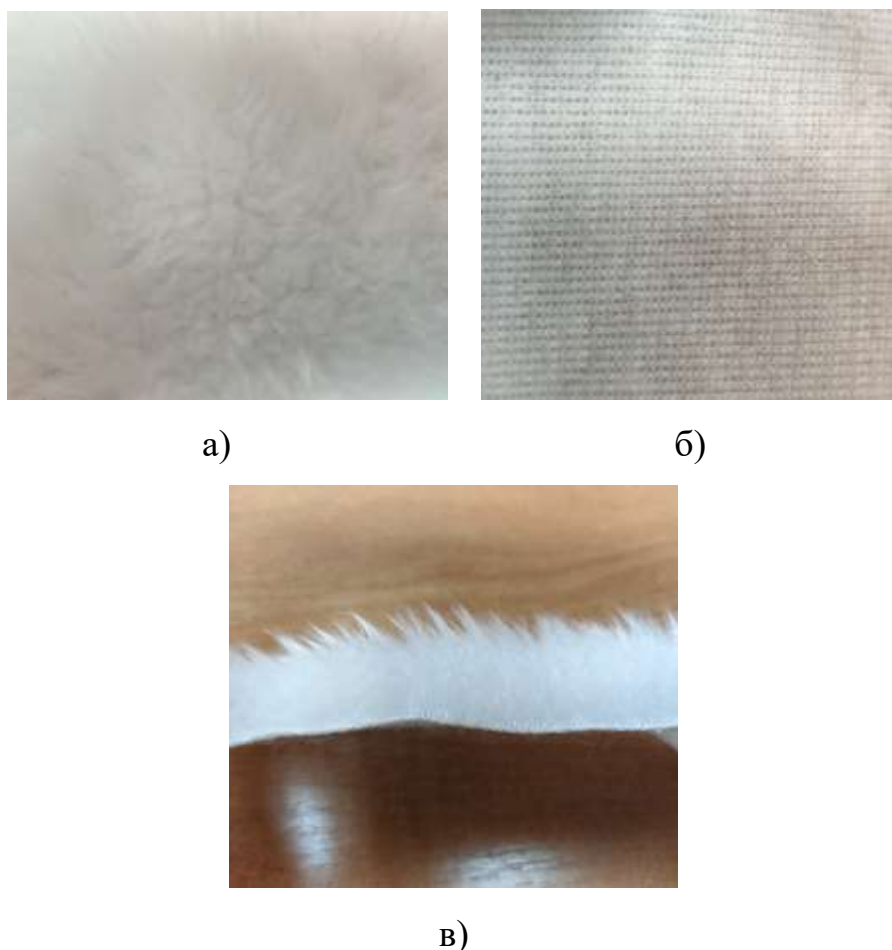


Рис. 2.6. Фотографія розташування нерівностей на ворсистій стороні (а), на протилежній стороні - тканинній основі (б) та профілю поверхні деталі зі штучного хутра (в)

Також часто при виробництві взуття часто використовують так зване “набивне хутро”. Відрізняється воно від натурального хутра своєю основою. У натурального хутра під ворсинками знаходиться шкіра тварини, а у набивного – тканина. Воно виробляється подібно килиму. У ткану основу вплітається хутро.

На рис. 2.7, а показана фотографія розташування нерівностей на ворсистій стороні, на протилежній стороні - тканинній основі (рис. 2.7, б) та профіль поверхні деталі з “набитого хутра” (рис. 2.7, в).

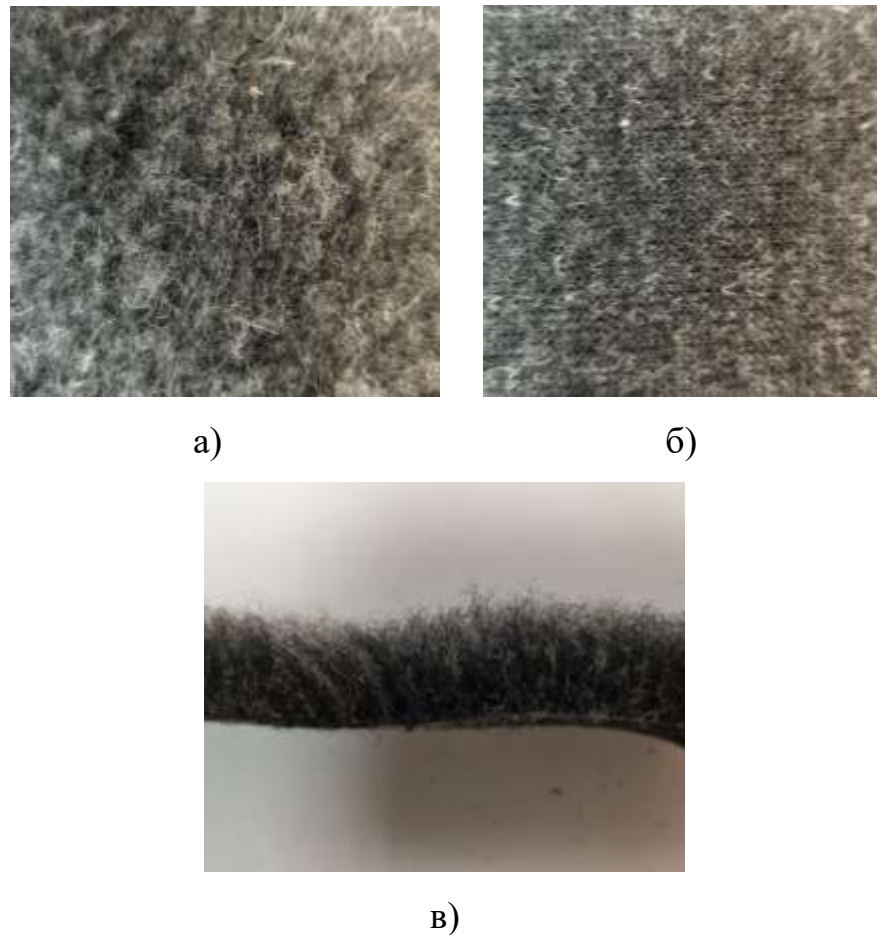


Рис. 2.7. Фотографія розташування нерівностей на ворсистій стороні (а), на протилежній стороні - тканинній основі (б) та профілю поверхні деталі з “набитого хутра” (в)

Як видно з рис. 2.1-2.7, розташування нерівностей на поверхнях та їх профіль в даних взуттєвих матеріалах мають складний характер.

Тиснення лицьової поверхні шкіряних деталей низу взуття, а також галантерейних шкір з декоративною метою також призводить до появи на ній нерівностей різного розташування та профілю.

Майже всі види синтетичних матеріалів для низу взуття випускаються з різним малюнком (мереєю) на ходовій та неходовій поверхні. Тільки підошви із пластшкіри та деякі види каучукових підошов мають до обробки однаковий малюнок на обох сторонах. Ці деталі набувають різних властивостей поверхонь у процесі обробки: двоїння, шліфування, промазки клеєм і т.д [69].

Створення різних рифлень, малюнків та інших нерівностей виконується з різною декоративною та експлуатаційною метою. Це добре видно із розгляду окремих видів синтетичних матеріалів. Різновидом пористих гум є вулканіт, лицева поверхня якого має малюнок "букле" з декоративною метою [68, 97].

Представник шкіроподібних гум волокнит, який застосовується для підошов дитячого взуття, має спеціальний малюнок "букле", "стільники" або "морозець" з декоративною метою.

Транспарентні підошви випускають із глибоким рифленням на ходовій поверхні підошви, що збільшує коефіцієнт тертя її з поверхнею дорожнього покриття та знижує витрату каучуку [97].

На рис. 2.8 показана фотографія перпендикулярних зрізів мікропористих гумових підошов, що мають гладку неходову поверхню і рифлення на ходових поверхнях. Профіль виступів нерівностей має неправильну геометричну форму, розташування виступів на поверхні – із змінним кроком.



Рис. 2.8. Профіль мікропористої гумової підошви

Особливий інтерес представляють синтетичні матеріали для деталей низу спеціального взуття, що мають нерівності правильної геометричної форми, які закономірно розміщені на поверхні.

Так жиростійкі підошви для підвищення коефіцієнта тертя по зажиреній поверхні керамічної плитки підлоги на ходовій поверхні мають глибоке рифлення з кутом нахилу малюнка рифлення 60° по відношенню до поздовжньої осі підошви або мають на ходовій поверхні присоски. Застосовуються для взуття, що використовується на підприємствах м'ясомолочної промисловості.

Фрикційні гумові підошви характеризуються підвищеним коефіцієнтом тертя об метал. Ця властивість досягається за рахунок пористості волокнистого наповнювача та глибокого малюнка рифлення ходової поверхні підошви. Взуття на такій підошві використовується робітниками-будівельниками та монтажниками-верхолазами.

Гумову підошву для гірськолижних черевиків випускають у вигляді пластин із рифленою ходовою поверхнею. Непориста гума з рифленням на лицьовій поверхні "дрібне букле" має високу зносостійкість, гнучкість, легкість. Застосовується для легкоатлетичного взуття та взуття для вільної боротьби [98].

Для кросового взуття застосовують гуму непористої структури завтовшки 3,5-4,5 мм з рифленням "калоша" або "хвиля".

Формовані підбори мають на ходовій поверхні профільований малюнок та окремі види поглиблення для запобігання зношування головок цвяхів, якими підбори кріпляться до взуття. Для зменшення маси підборів і витрати гуми в підборах роблять виїмки.

Формовані гумові підмітки виготовляють із звичайної та шкіроподібної гуми непористої структури, що має на ходовій поверхні рельєфний малюнок (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Формована монолітна гума

Широкого використання у взуттєвому виробництві набули вироби з матеріалу EVA (аббревіатура від етиленвінілацетат, що відноситься до полімерних матеріалів), з якого виготовляють устілки, підошви та ін [99].

За своїми характеристиками деталі з EVA є досить легкими, стійкими до перепадів температур, має високу еластичність і пружність, тому є відмінним

амортизуючим матеріалом, а також за рахунок своєї пористої структури (матеріал заповнений мікрочастинками повітря), володіє хорошою теплоізоляцією.

На рис. 2.10, а показана фотографія ходової поверхні, гладка неходова поверхня (рис. 2.10, б) та профіль поверхні деталі з EVA (рис. 2.10, в).

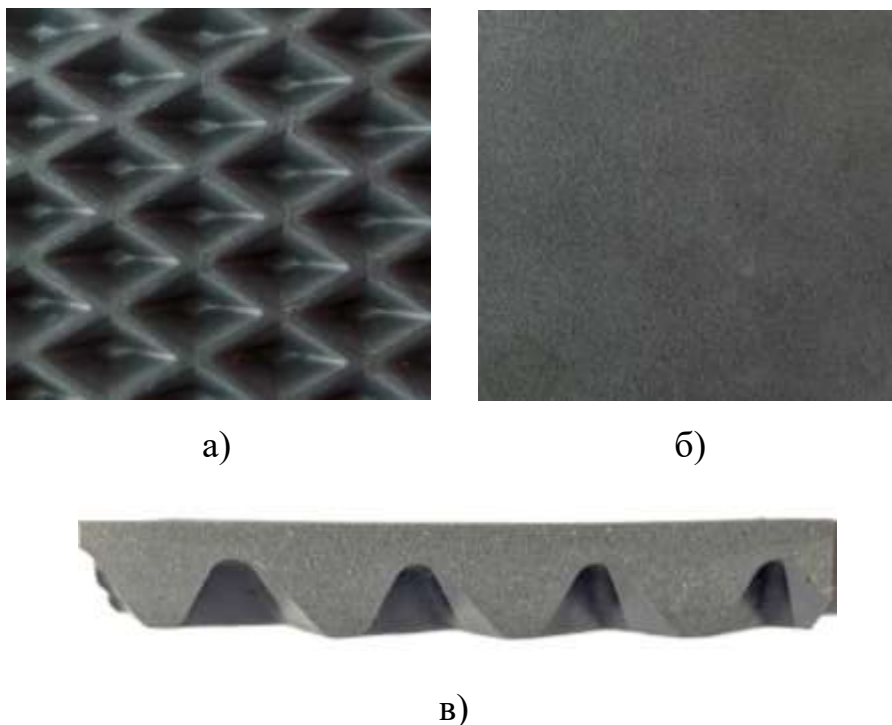


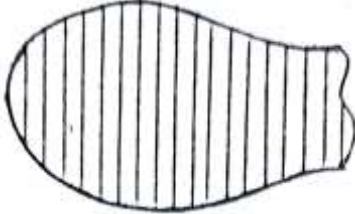
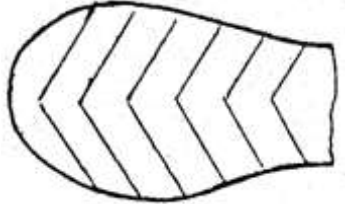
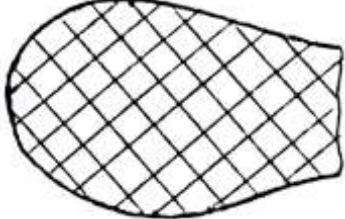
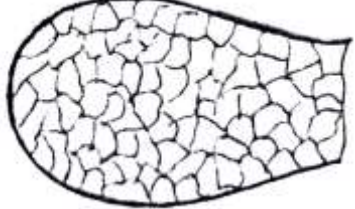
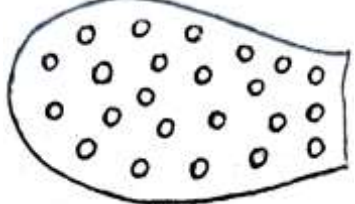
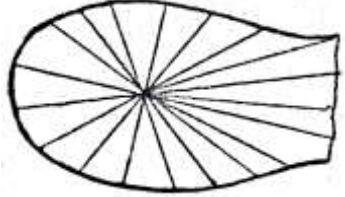
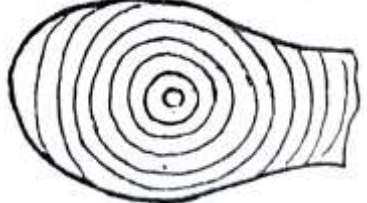
Рис. 2.10. Фотографія ходової поверхні (а), гладкої неходової поверхні (б) та профіль поверхні деталі з EVA (в)

Картон у заготовках не становить інтересу з точки зору контролю положення деталей з нього за властивостями поверхонь, оскільки його поверхні не мають відмінностей у структурі. Проте в процесі обробки одна зі сторін може набувати відмінних властивостей (зволоження, промазування клеєм, тиснення і т.д.).

2.1.2. Аналіз типізованих поверхонь

Схематизуючи всі нерівності за ознаками, які є найбільш загальними, за напрямом і розташуванням їх на поверхні, можна звести все різноманіття цих напрямків і розташувань до семи типів (табл. 2.1.) [100].

Типи напрямків нерівностей

№ типу	Тип напрямків нерівностей	Схематичне зображення
I	Паралельне	
II	Кутове	
III	Решітчасте	
IV	Довільне	
V	Кругове	
VI	Радіальне	
VII	Концентричне	

Необхідно виділити два окремі випадки контакту струменів повітря та виступів нерівностей .

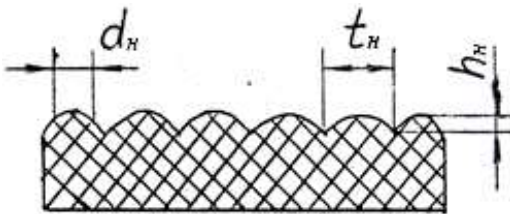
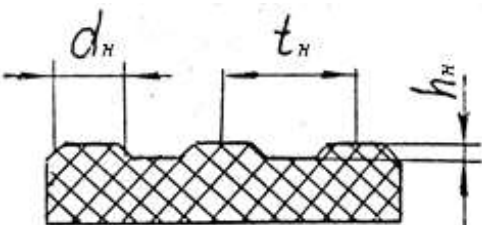
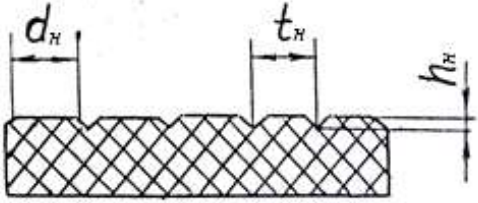
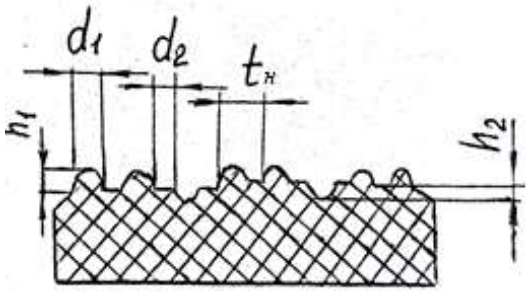
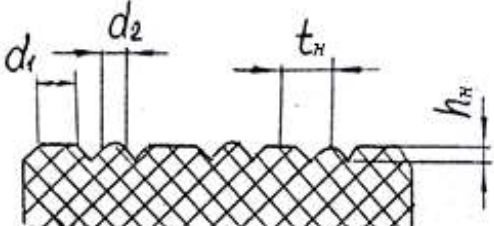
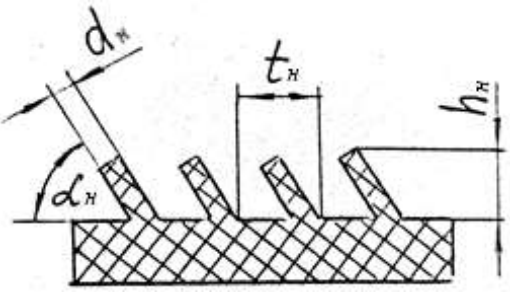
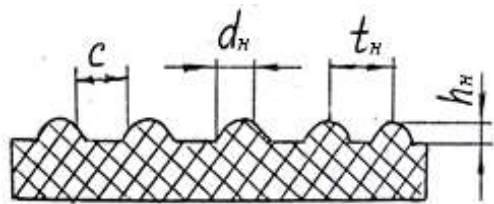
1. Для напрямків нерівностей типів I, V, струмінь повітря діє перпендикулярно на всю поверхню кожної нерівності.

2. Для решти напрямків нерівностей струмінь повітря діє під кутом до поверхні кожної нерівності, тому при визначенні зусилля переміщення деталі під дією струменів повітря необхідно враховувати ці кути.

В таблиці 2.2 представлені типізовані профілі нерівностей.

Таблиця 2.2

Типізовані профілі нерівностей

№ типу	Схематичне зображення	№ типу	Схематичне зображення
1		5	
2		6	
3		7	
4			

де d_n - середня товщина нерівностей; c - середня ширина западин нерівностей; h_n - середня висота нерівностей; t_n - середній крок нерівностей; α_n - середній кут нахилу нерівностей.

Комбінація цих двох характеристик за таблицею 2.1 та 2.2 створює певну модель топографії контрольованої поверхні, що визначає опір нерівностей струменям повітря.

Вимірювання висоти нерівностей при визначенні характеристики поверхні в загальному випадку виконують по вертикалі від западини до вершини. Існують різні системи відліку від середньої лінії профілю, від лінії, що огинає, та інші [4].

У нашому випадку найдоцільніше вимірювати глибину впадин нерівностей від площини виступів, від якої буде вимірюватись віддаль, до площини отворів витікання струменів повітря (рис. 2.11).

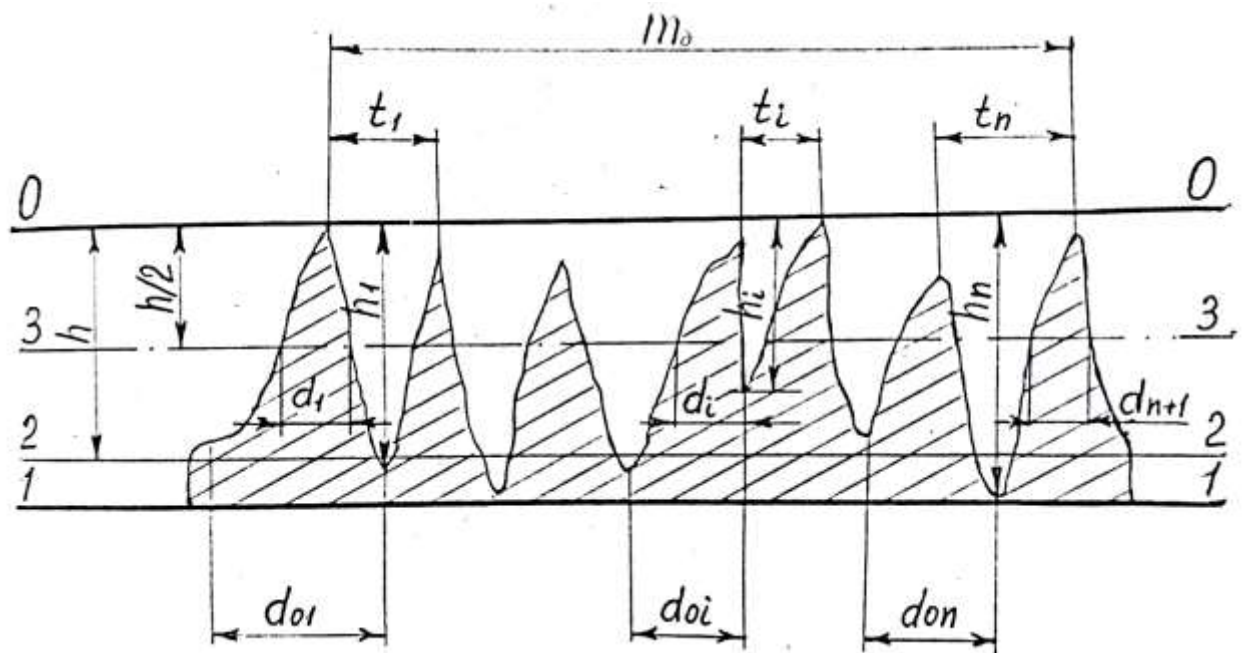


Рис. 2.11. Схема вимірювання параметрів нерівностей, де t_i – крок нерівностей; m_0 - довжина вимірюваної ділянки; 0-0 - площина виступів; 1-1 - площина западин; 2-2 - середня площина западин; 3-3 - середня площина умовного зазору; h_i - глибина окремих западин; d_i - товщина окремого виступу; d_{oi} - товщина окремого виступу біля його основи

Розподіл нерівностей, що утворюються в процесі обробки на поверхні деталі, а також їх розміри мають випадковий або досить близький до нього характер, що підтверджується дослідженнями [4].

Такі передумови стали підставою для розгляду параметрів нерівностей взагалі як середніх величин, що підпорядковуються статистичним законам розподілу випадкових величин.

Тоді

$$h_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2.1)$$

$$t_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2.2)$$

$$d_c = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n d_i, \quad (2.3)$$

$$d_o = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n d_{oi}, \quad (2.4)$$

де h_c - середня глибина западин або висота умовного зазору між робочою поверхнею пневматичної камери (поверхні, на якій розташовані отвори) та середньою площиною западин; t_c - середній крок нерівностей; d_c - середня товщина виступів; n - кількість западин на вимірюваній довжині; d_o - середня товщина виступів біля їхньої основи.

Результати вимірювань нерівностей поверхонь найбільш поширених взуттєвих матеріалів відображені в додатку В, таблиця В1.

Вивчення лицьових поверхонь натуральної шкіри для низу взуття, штучної та синтетичної шкіри (якщо вони не мають тиснення), а також неходових поверхонь деталей з мікропористих і монолітних гум показало, щодо обробки їх нерівності на кілька порядків менше нерівностей виворітних поверхонь. У зв'язку з цим, вважаємо такі поверхні гладкими і параметрів нерівностей цих поверхонь в таблицю не вносили.

Таким чином, проведена типізація поверхонь взуттєвих матеріалів за нерівностями та вимірювання їх параметрів дозволяють: 1 - визначити

параметри умовного зазору між робочими поверхнями пристрою для контролю, на якому знаходяться струменеві отвори та поверхнями деталі; 2 - тип типізованого профілю, що дозволяє визначити площу опору струменю повітря; 3 - кути дії струменів повітря на нерівності.

Крім напряму, розташування нерівностей на поверхні деталі та їх розмірів, велике значення для взаємодії струменів повітря з поверхнею деталі має деформація нерівностей в процесі цієї взаємодії. З цієї точки зору всі нерівності можна розділити на дві групи: 1 – які деформуються під дією струменів повітря і їх площа опору змінюється; 2 – які не деформуються і площа опору не змінна. На рис. 2.12 видно як деформується ворс штучного хутра під дією струменя повітря. Величина деформації залежить від тиску струменя повітря та опору нерівності на згин. Аналітично описати величину деформації і відповідно зміну площі опору важко, перш за все через велике різноманіття матеріалів, типів та міцності нерівностей на згин.



Рис. 2.12. Деформація ворса штучного хутра під дією струменя повітря

2.2. Аналітичне дослідження процесу контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря

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.

В результаті випробувань пневмомеханічних способів контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь зроблено висновок, що спосіб контролю за допомогою струменів повітря є найбільш перспективним і потребує більш глибокого аналітичного та експериментального дослідження.

Досліджуючи процес контролю положення плоских деталей низу взуття з асиметрією шорсткості поверхонь з допомогою струменів повітря на запатентованому нами пристрої, будем виходити з того, що в початковий момент контролю дії струменів деталей не рухома. Схема дії складових сил від впливу повітряного струменя на плоску деталь в загальному вигляді на початку руху деталі, коли вона перекриває всі сопла, показана на рис. 2.13 [105].

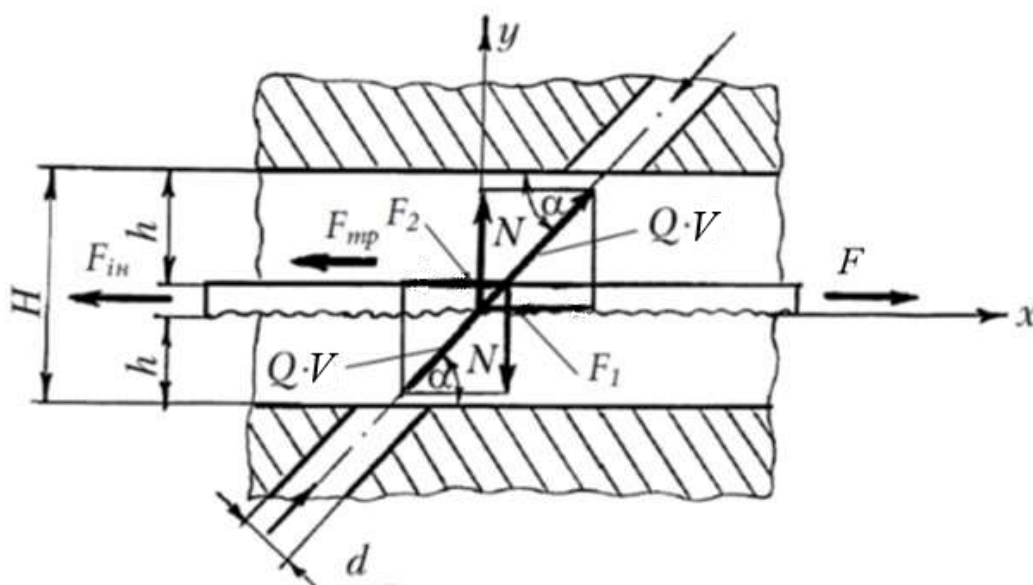


Рис. 2.13. Схема сил, що діють на плоску деталь у процесі контролю положення за властивостями поверхонь з допомогою струменів повітря

Якщо струмінь повітря діє на деталь і спрямований під деяким кутом α 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 α , 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 [106]. 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 можна визначити з виразів:

$$N = N_1 = N_2 = QV \sin \alpha, \quad (2.5)$$

$$F_1 = C_1 QV \cos \alpha, \quad (2.6)$$

$$F_2 = C_2 QV \cos \alpha, \quad (2.7)$$

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. 2.13):

$$F_1 - F_2 - F_{mp} - F_{in} = 0, \quad (2.8)$$

або

$$CQV \cos \alpha - mgf = m\ddot{x}, \quad (2.9)$$

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 в розділі 3.

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 [106].

Для визначення області кута нахилу сопла α була створена 3D модель нашого пристрою [81] (рис. 2.14) в програмному середовищі SolidWorks та проведена симуляція процесу взаємодії струменів повітря з поверхнями деталей, що мають різні топографії в програмному середовищі SolidWorks Flow Simulation (рис. 2.15).

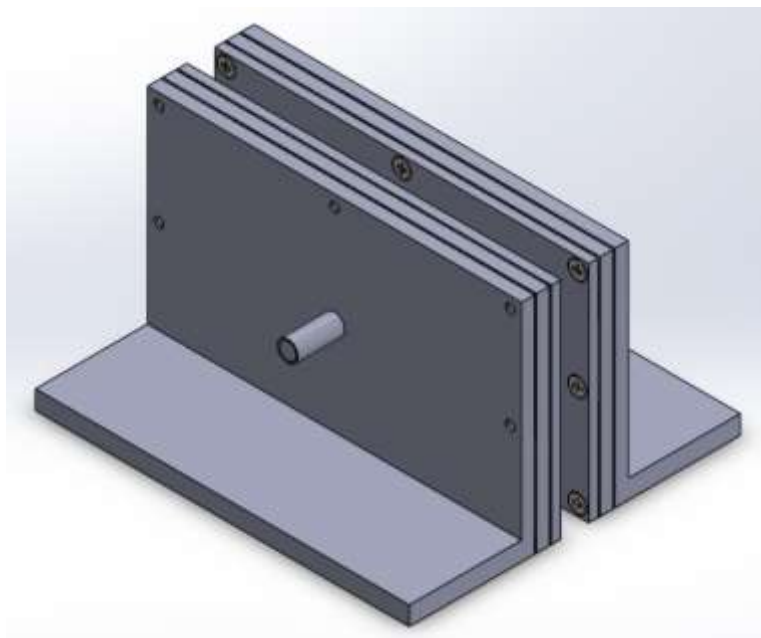


Рис. 2.14. 3D модель пристрою для орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь створена в SolidWorks

Дослідження проводилось із зразком, виготовленим із матеріалу EVA в програмному середовищі SolidWorks, що застосовується для деталей низу

взуття (рис. 2.16). Зразок має одну поверхню з явно вираженими нерівностями (рис. 2.16, а), а протилежну гладку (рис. 2.16, б).

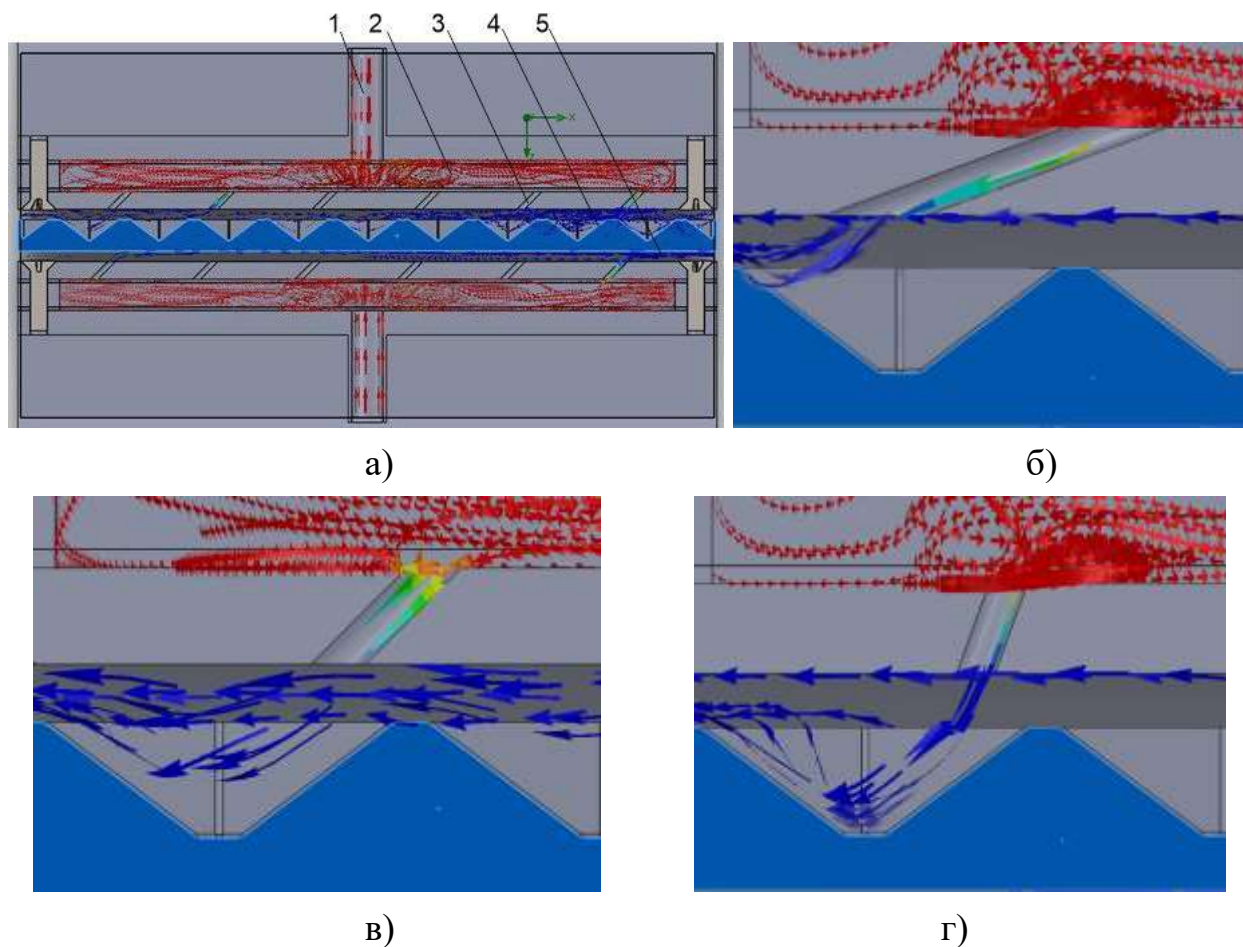


Рис. 2.15. Процес взаємодії струменів повітря з поверхнями деталей, що мають різні топографії поверхонь в програмному середовищі SolidWorks Flow Simulation: а) загальний вид; б) наближений вид з кутом нахилу сопла $\alpha=20^\circ$; в) $\alpha=45^\circ$; г) $\alpha=70^\circ$

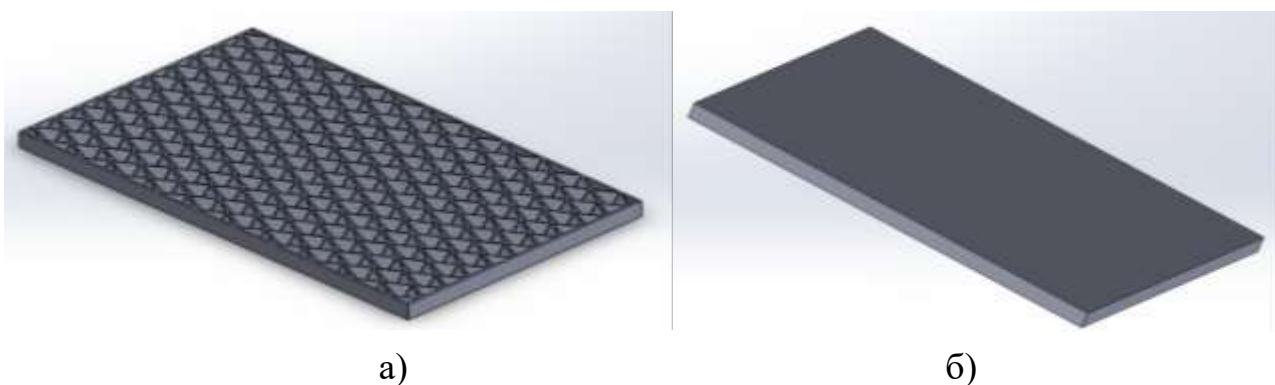


Рис. 2.16. Зразок виготовлений із матеріалу EVA: а) поверхня з нерівностями; б) гладка поверхня

Пристрій орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь (рис. 2.15, а) містить: патрубки 1 для приєднання до системи подачі стисненого повітря, дві пневматичні камери 2, розташовані паралельно одна одній, сопла 3, виконані під кутом в стінках кожної камери, а також деталь з поверхнею з нерівностями 4 та гладкою поверхнею 5.

На рисунку чітко видно, як струмені повітря заходять у впадини між виступами нерівностей і створюють тиск на них. При цьому активна площа виступу нерівності, на яку діє струмінь повітря різна і залежить від кута нахилу сопла α . На рис. 2.15, б ($\alpha=20^\circ$) це приблизно $1/3$ частина площі, на рис. 2.15, в ($\alpha=45^\circ$) – приблизно $4/5$ частина площі, на рис. 2.15 г ($\alpha=70^\circ$) – вся площа нерівності. Тобто при зменшенні кута α зменшується площа опору нерівностей, а значить сила переміщення деталі F .

Аналізуючи також формули (2.6, 2.7) бачимо, що при зменшенні кута α збільшується горизонтальна складова сили дії струменя F , тобто сила переміщення деталі (збільшується $\cos\alpha$).

Очевидно існує оптимальний кут нахилу сопел α , 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” [106, 107]:

$$h \geq 0,25d . \quad (2.10)$$

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.

Рекомендується [107] довжину сопла (товщину стінки камери) брати зі співвідношення:

$$l = (2 \div 3)d . \quad (2.11)$$

При цій умові струмінь повітря на виході із сопла заповнює весь перетин. Більшу довжину брати не рекомендується, тому що до місцевих опорів у вході в сопло додаються втрати на тертя в каналі сопла.

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 [107]:

$$u = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (2.12)$$

де ρ - густина повітря, вибирали з таблиці із [108]; p - динамічний тиск при вході в камеру.

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

$$Q = \gamma \frac{\pi D^2}{4} u \rho, \quad (2.13)$$

де γ - коефіцієнт стиску струменя, з [109] $\gamma \approx 0,7$; 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 сопел 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:

$$V = \frac{4Q}{\gamma \pi d^2 \rho n_c}, \quad (2.14)$$

де n_c – кількість сопел; d – діаметр сопла.

Коефіцієнти тертя спокою пари "зразок – поверхня основи пристрою для контролю" f визначалися експериментально за відомою методикою [83].

Зважування зразків проводилося на лабораторних вагах з похибкою до 0,0001 Н.

Тоді:

$$F_{mp} = Gf, \quad (2.15)$$

де G - вага зразка.

Знаючи значення коефіцієнтів C матеріалів для деталей низу взуття (або близьких до них по характеристиках поверхонь), можна знайти необхідні параметри пристроїв для контролю, а також необхідний тиск повітря для створення зусилля, достатнього для переміщення цих деталей з позиції контролю із заданою швидкістю, тобто для створення умов контролю.

Зокрема, середня швидкість переміщення деталі на позиції контролю при рівноприскореному русі визначається виразом:

$$V_{\partial} = \left(\frac{CQV \cos \alpha - mgf}{m} \right) \frac{t}{2}, \quad (2.16)$$

або

$$\left(\frac{CQV \cos \alpha - mgf}{m} \right) \frac{t}{2} = \frac{l}{t}, \quad (2.17)$$

де t – час, за який деталь виходить з позиції контролю; l – довжина деталі.

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

$$t = \sqrt{\frac{2ml}{CQV \cos \alpha - mgf}}. \quad (2.18)$$

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

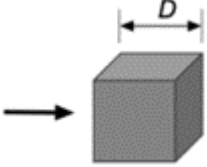
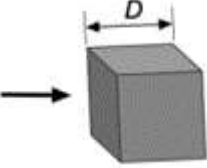
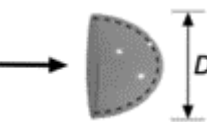
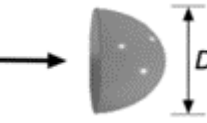
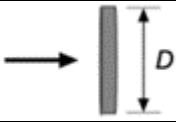
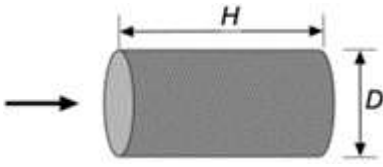
$$F = C \frac{4Q^2}{\gamma \pi d^2 \rho n_c} \cos \alpha + mgf. \quad (2.19)$$

В окремому випадку, коли нерівності не деформуються під дією струменів повітря, для визначення зусилля можна застосувати результати досліджень взаємодії потоку з твердими тілами з різною геометрією.

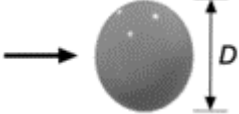
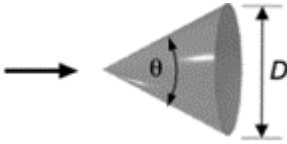
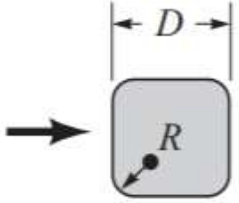
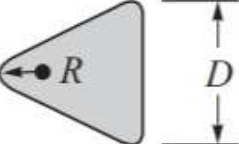

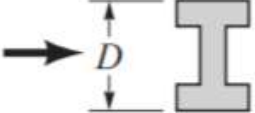

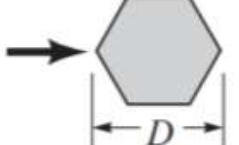
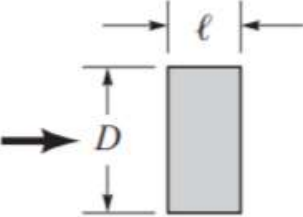
В роботі [103] доведено, що при обтіканні потоком повітря поверхні з нерівностями спостерігається лобовий опір нерівностей і введено поняття коефіцієнта опору C_{on} . Цей коефіцієнт визначався експериментально для типових профілей, які описуються геометричними фігурами, з достатньо високою точністю в аеродинамічній трубі (табл. 2.3) [104]. Ці профілі з деяким допущенням можна ідентифікувати з типізованими нами профілями нерівностей взуттєвих матеріалів (табл. 2.2). І для нерівностей, що не деформуються, його можна застосувати для визначення сили опору.

Таблиця 2.3

Коефіцієнти лобового опору типових профілей

Загальний вигляд тіла	Назва	Контрольна область, A (b =довжина)	Коефіцієнт опору, C_{on}	Число Рейнольдса, Re	
1	2	3	4	5	
	Куб	$A = D^2$	1.05	$>10^4$	
	Куб під кутом	$A = D^2$	0.8	$>10^4$	
	Порожниста сфера	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	$\begin{matrix} \rightarrow 1.42 \\ \leftarrow 0.38 \end{matrix}$	$>10^4$	
	Суцільна сфера	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	$\begin{matrix} \rightarrow 1.17 \\ \leftarrow 0.42 \end{matrix}$	$>10^4$	
	Плоский круглий диск	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	1.7	$>10^3$	
	Циліндр	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	H/D	C_{on}	$>10^5$
			0.5	1.1	
			1.0	0.93	
			2.0	0.83	
			4.0	0.85	

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
	Сфера	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	0.45 0.2	<200,000 >400,000
	Конус	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	θ° 10 30 60 90	C_{on} 0.30 0.55 0.80 1.15
	Квадратний стрижень із закругленими кутами	$A = bD$	R/D 0 0.02 0.08 0.33	C_{on} 2.2 2.0 1.2 1.0
	Закруглений рівносторонній трикутник	$A = bD$	R/D 0 0.02 0.08 0.25	C_{on} 1.4 1.2 1.3 1.1
	Т-подібна балка	$A = bD$	1.8 → ← 1.65	$>10^4$
	Двотавр	$A = bD$	2.05	$>10^4$
	Кутник	$A = bD$	1.98 → ← 1.82	$>10^4$
	Шестикутник	$A = bD$	1.0	$>10^4$
	Прямокутник	$A = bD$	l/D ≤ 0.1 0.5 0.65 1.0 2.0 3.0	C_{on} 1.9 2.5 2.9 2.2 1.6 1.3

Очевидно векторна сума нормальних напружень по всій поверхні нерівностей дасть вектор сумарної сили, компоненти якого в напрямі відносної швидкості потоку, що обтікає тіло, характеризують лобовий опір [103]. Без урахування сил тертя, які на два порядки менші, повний лобовий опір дорівнює силі тиску:

$$\vec{F}_{\text{опір}} = \vec{F}_{\text{тиск}}, \quad (2.20)$$

де опір тиску $F_{\text{тиск}} = -\int_S p \cos \varphi dS$ (де S - площа поверхні; φ - кут між нормаллю до елемента поверхні і напрямом руху, p - тиск повітря).

У зв'язку з тим, що $F_{\text{тиск}}$ є величиною пропорційною $\left(\frac{V^2 \rho}{2}\right)$, тобто

$F_{\text{тиск}} = \int_S p ds$, або $F_{\text{тиск}} = C_{\text{тиск}} \frac{\rho V^2}{2} S$, для сил опору $F_{\text{опір}}$ записана залежність

$$F_{\text{опір}} = C_{\text{он}} \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (2.21)$$

де коефіцієнт опору $C_{\text{он}} = C_{\text{тиск}}$; ρ - 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 таблиці 2.3 показані значення коефіцієнтів опору для основних профілів [104].

Виходячи з висновків про деформацію нерівностей описаних в підрозділі 2.1.2 зрозуміло, що визначення сили опору за формулою (2.21) можливо тільки для поверхонь, які мають нерівності, що не деформуються під дією струменів повітря. Тобто в них площа проєкції нерівності на площину S величина постійна.

В цьому випадку зусилля переміщення деталі на позиції контролю буде:

$$F = F_{\text{опір}} + F_{\text{мп}}, \quad (2.22)$$

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

Аналізуючи фактори, які можуть впливати на збереження пропорційної залежності, авторами книги «Fluid dynamics» Дж. Дейлі і Д. Харманом [103] було відмічено, що цей коефіцієнт суттєво залежить від геометричних особливостей тіла, критеріїв Рейнольдса, Фруда і Маха, тобто:

$$C_{on} = f(\text{геометрія тіла}, Re, Fr, M). \quad (2.23)$$

У відповідності з вище приведеною систематизацією нерівностей, тип нерівностей на поверхні зразка (рис. 2.16) решітчастий (табл. 2.1, тип 3), а профіль відповідає типу 5 (табл. 2.2). Для розрахунку зусилля по формулі (2.22) можна брати, з деяким допущенням, коефіцієнт опору як для тіла половина «порожнистої сфери» із таблиці 2.3.

Враховуючи вище викладене, можна записати формулу для визначення зусилля переміщення деталі на позиції контролю, в яких нерівності не деформуються, в наступному вигляді:

$$F = C_{on} \frac{\rho \left(\frac{4Q}{\gamma \pi d^2 \rho n_c} \right)^2}{2} S \cos \alpha + mgf. \quad (2.24)$$

Висновки до 2-го розділу

1. У взуттєвому виробництві використовується велика кількість натуральних та штучних матеріалів, поверхні яких не є гладкими, а мають нерівності, параметри яких різні на лицьовій та виворітній поверхнях цих матеріалів. Вивчення можливості та умов визначення положення плоских деталей низу взуття з таких матеріалів за ознакою "лицьова сторона - виворітна сторона" за допомогою струменів повітря утруднено насамперед через велику різноманітність нерівностей. Для спрощення цього процесу запропоновано типізацію нерівностей поверхонь за характером напрямків розташування та профілів нерівностей, яка створює певну модель топографії поверхні, що визначає тип обтікання струменями повітря поверхні та виступів нерівностей.

2. 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.

3. Дослідження взаємодії струменів повітря і поверхонь деталей, які контролюються показало, що зусилля переміщення деталі на позиції контролю залежить від наступних факторів:

- кута нахилу сопел α ;
- діаметрів сопел d ;
- віддалі між несучою поверхнею камери з соплами та поверхнею деталі h ;
- тиску повітря p ;
- параметрів нерівностей (розмірів, розташування на поверхні та форми).

4. Для поверхонь, які мають нерівності, що деформуються під дією струменів повітря і в них площа нерівностей змінюється в процесі контролю, наприклад деталі із натурального чи штучного хутра, зусилля переміщення визначається через аеродинамічний коефіцієнт C , що характеризує різницю нерівностей поверхонь деталі по формулі (2.19).

Визначення зусилля переміщення деталі через силу лобового опору нерівностей за формулою (2.24) через коефіцієнт опору C_{on} можливо тільки для поверхонь, які мають нерівності, що не деформуються під дією струменів повітря. Тобто в них площа проекції нерівності на площину S величина постійна в процесі контролю.

5. Аналіз поверхонь взуттєвих матеріалів показав, що шорсткість їх поверхонь настільки різноманітна, що визначити аналітичним способом коефіцієнт C не можливо. Для експериментально визначення цього коефіцієнта необхідно створити експериментальний стенд і визначити його для різних матеріалів, які застосовуються для виготовлення низу взуття.

6. Знаючи значення коефіцієнтів C , що характеризують різницю параметрів нерівностей, можна знайти необхідні параметри пристроїв для контролю, а також необхідний тиск повітря для створення зусилля, достатнього

для переміщення цих деталей з позиції контролю із заданою швидкістю, тобто для створення умов контролю.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ НИЗУ ВЗУТТЯ СТРУМЕННЯМИ ПОВІТРЯ

3.1. Експериментальне дослідження зусилля переміщення деталі

3.1.1. Опис експериментальної установки

Для виконання експериментальних досліджень спроектовано і виготовлено експериментальний стенд, фото якого представлено на рис. 3.1.

Експериментальний стенд (рис. 3.1) складається з компресора, ресивера, блока підготовки повітря та вимірювальної апаратури.

Блок вимірювальної апаратури для визначення зусилля переміщення деталі (рис. 3.2) складається з: пристрою орієнтованої подачі 1, вхідного патрубку 2, пневморозподільника з механічним керуванням 3, трубки Піто 4, датчика тиску 5, тензодатчика 6, блока обробки сигналів 7 та персонального комп'ютера 8.

В експериментальному стенді був використаний диференційний датчик тиску MPX5700DP фірми NXP (рис. 3.3), який разом з трубкою Піто (рис. 3.4) дає нам можливість вимірювати швидкість потоку, зміну динамічного, статичного та повного тиску в діапазоні від 0 до 700 кПа. Технічні характеристики датчика тиску представлені в додатку Г, таблиця Г1.

В основі датчика тиску лежить монолітний кремнієвий п'єзорезистор, який генерує вихідну напругу $U_{вих}$, яка змінюється в залежності від зміни прикладеного тиску за формулою [110]:

$$U_{вих} = U_{жс} \cdot (0.0012858 \cdot P + 0.04), \quad (3.1)$$

де $U_{жс}$ - напруга живлення датчика, $U_{жс} = 5В$; P - різниця тисків з трубки Піто.

Графік зміни вихідної напруги зі зміною вимірювального тиску представлений в додатку Г, рис. Г1.

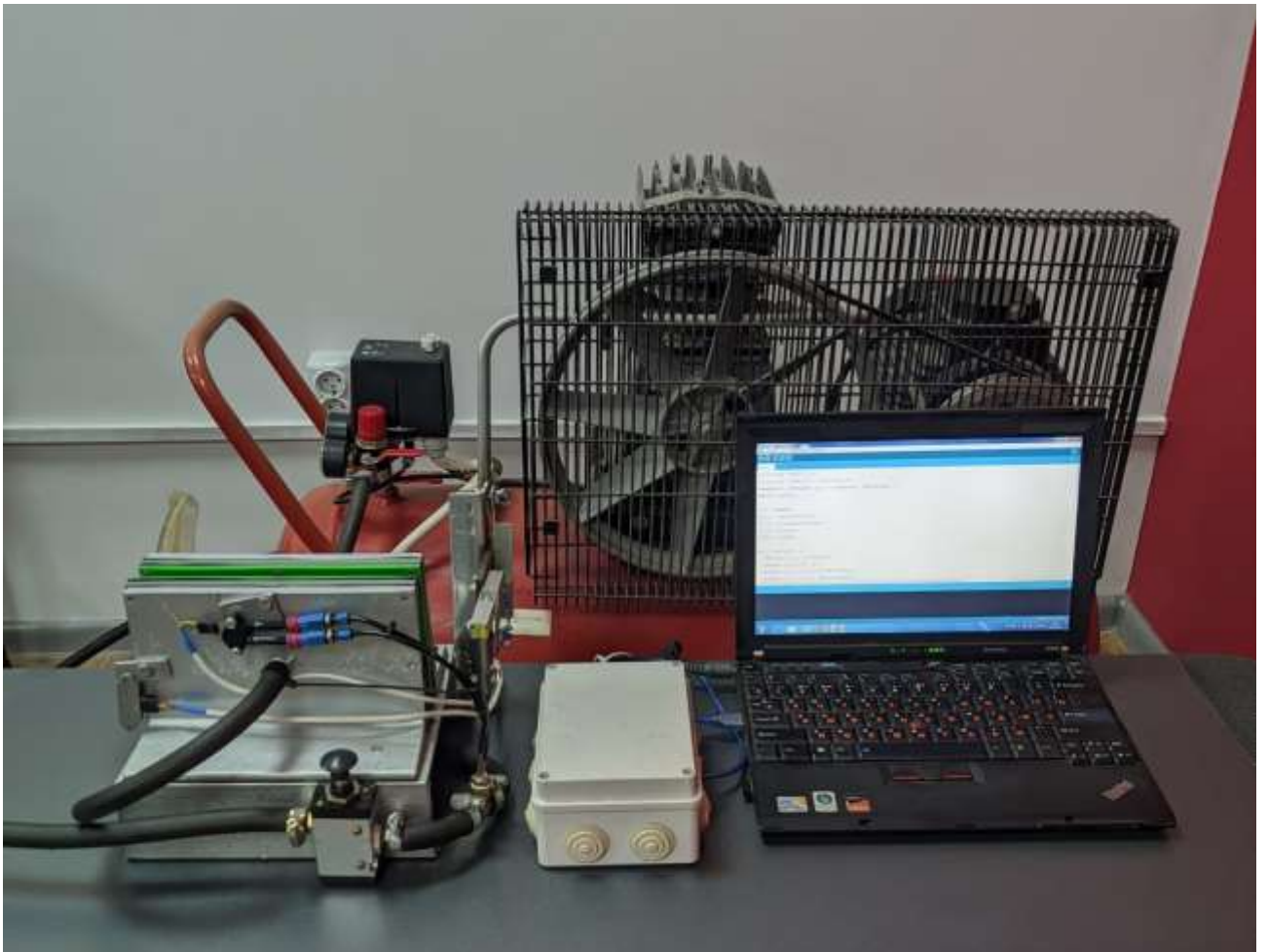


Рис. 3.1. Загальний вигляд експериментального стенду

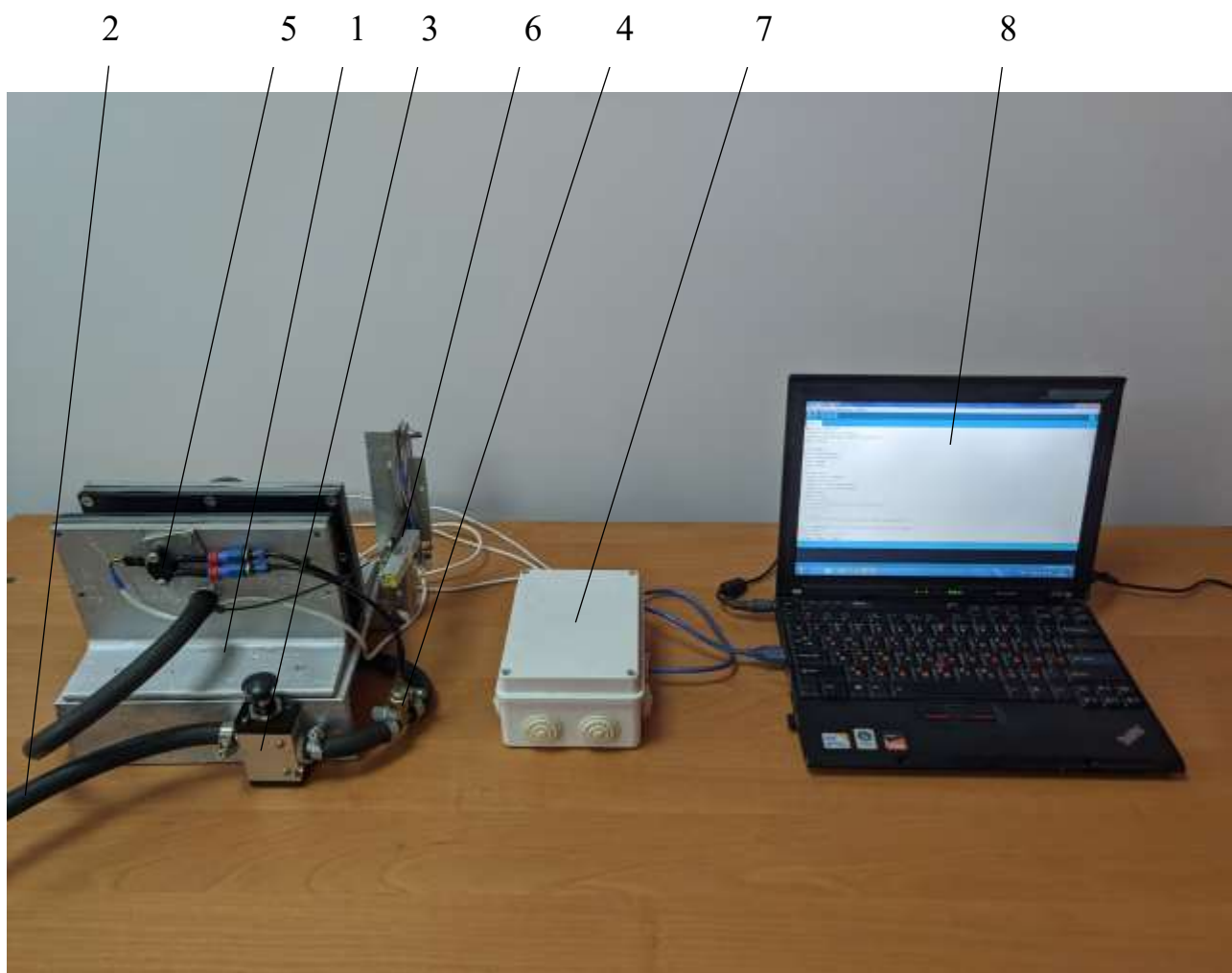


Рис. 3.2. Фото блоку вимірювальної апаратури для визначення зусилля переміщення деталі



Рис. 3.3. Диференційний датчик тиску MPX5700DP фірми NXP



Рис. 3.4. Трубка Піто

Даний датчик тиску обрано, як прецизійний пристрій, реалізований з використанням мікромеханічної технології, тонкоплівкової металізації, технології біполярних напівпровідників і комп'ютерного лазерного тюнінгу, що дозволило нам отримати точний, якісний аналоговий вихідний сигнал, пропорційний прикладеному тиску. Поперечний переріз датчика диференційного/відносного тиску (не в масштабі) представлений в додатку Г, рис. Г2.

Датчик тиску працює наступним чином (рис. 3.5) [111]: через тензодатчик протікає струм збудження (вивід 1 і 3), а тиск, що подається на діафрагму, впливаючи на діафрагму, згинає резистор. Вигин призводить до виникнення поперечного електричного поля в резисторі, яке проявляється у вигляді напруги на виводах 2 і 4, підключених до середньої точки резистора. Вихідний сигнал змінюється пропорційно прикладеному тиску. Одноелементний тензодатчик, з поперечним зняттям напруги, можна розглядати як механічний аналог приладу, заснованого на ефекті Холла. Блок-схема та спрощена принципова схема датчика тиску MPX5700DP представлена в додатку Г, рис. Г3, рис. Г4.

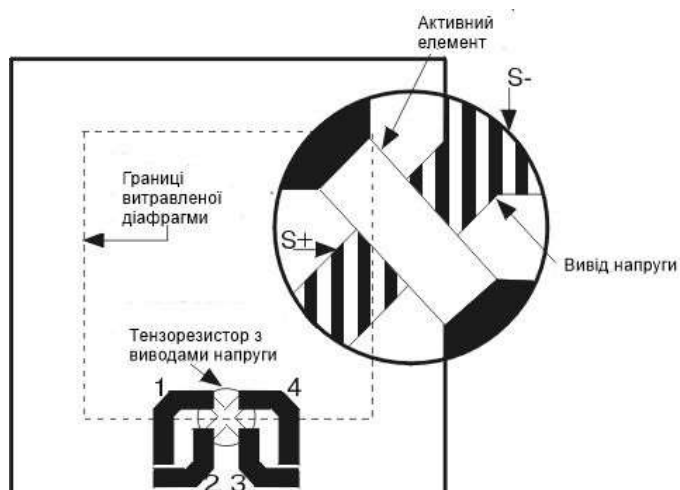


Рис. 3.5. Базовий елемент некомпенсованого датчика (вигляд зверху)

Для вимірювання зусилля переміщення деталі було використано тензодатчик YZC-1B-1 (рис. 3.6) та в якості його підсилювача модуль НХ711 (рис. 3.7), який представляє собою 24-бітний двоканальний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) для вимірювання аналогового сигналу від тензодатчиків та перетворення його на цифрове значення для подальшої обробки [112].

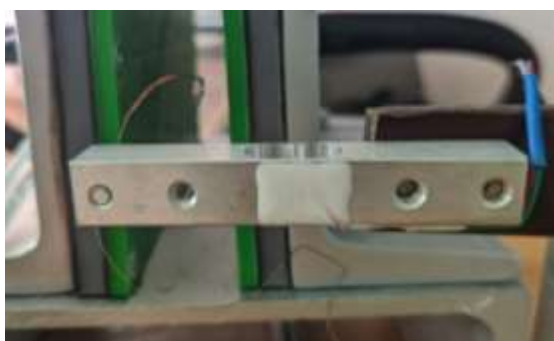


Рис. 3.6. Тензодатчик YZC-1B-1



Рис. 3.7. Модуль HX711

Технічні характеристики тензодатчика YZC-1B-1 та модуля HX711 представлені відповідно в додатку Г в таблицях Г2, Г3, схема їх підключення представлена в додатку Г, рис. Г3 [113].

В якості плати обробки сигналів з диференційного датчика тиску MPX5700DP та тензодатчика YZC-1B-1 було використано плату Arduino Uno R3 на основі мікроконтролера Atmega328 (рис. 3.8).

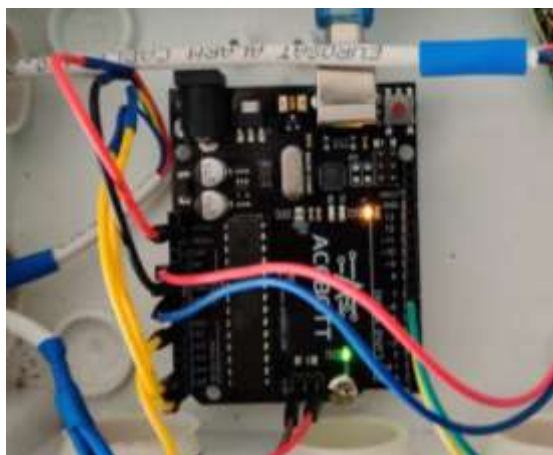


Рис. 3.8. Плата Arduino Uno R3

Датчик тиску підключається напряму до мікроконтролера, а тензодатчик – до аналогового входу АЦП в якому відбувається підсилення та перетворення сигналу з тензодатчика. Потім мікроконтролер зчитує ці сигнали і передає їх на комп'ютер для обробки й аналізу.

Схема підключення тензодатчика YZC-1B-1 та модуля HX711 до плати Arduino Uno R3 на рис. 3.9.

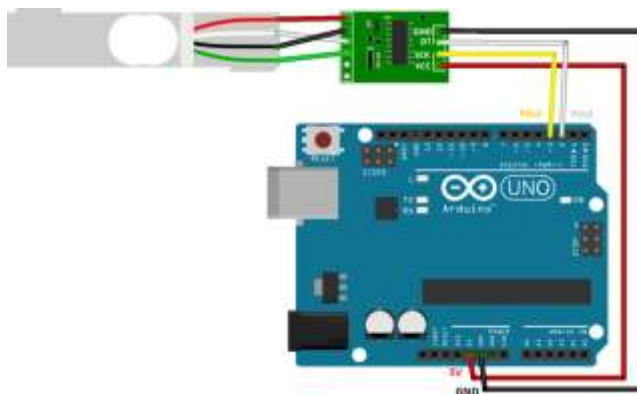


Рис. 3.9. Схема підключення тензодатчика YZC-1B-1 та модуля HX711 до мікроконтролера Arduino Uno R3

Для реєстрації та обробки даних з датчиків розроблено програмне забезпечення на мові С в програмному середовищі Arduino IDE (додаток Д), для плати Arduino Uno R3 на основі мікроконтролера Atmega328. Розроблене програмне забезпечення для експериментальної установки записує в пам'ять персонального комп'ютера значення даних в режимі реального часу, дані зберігаються в персональному комп'ютері та в подальшому обробляються в програмному середовищі MS Excel та Mathcad. Потім вони використовуються для визначення рівняння регресії та побудови графіків залежності зусилля переміщення деталі від кута нахилу сопел та різних кількостях сопел.

Визначення зусилля переміщення деталі проводилось за схемою, показаною на рис. 3.10 [114].

Схема (рис. 3.10) складається з вхідного патрубку 1, який з'єднаний з вузлом підготовки повітря 2, пневморозподільника з механічним керуванням 3, трубки Піто 4, двох пневматичних камер 5, встановлених на основі 9 паралельно одна одній, що мають патрубки 7 для приєднання до системи подачі стисненого повітря, отворів 8, виконаних під кутом в стінках кожної камери, деталі 10, тензодатчика 6, підсилювача сигналу (П), блоку обробки сигналів (БОС), датчика тиску (ДТ) та електронно-обчислювальної машини (ЕОМ).

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.

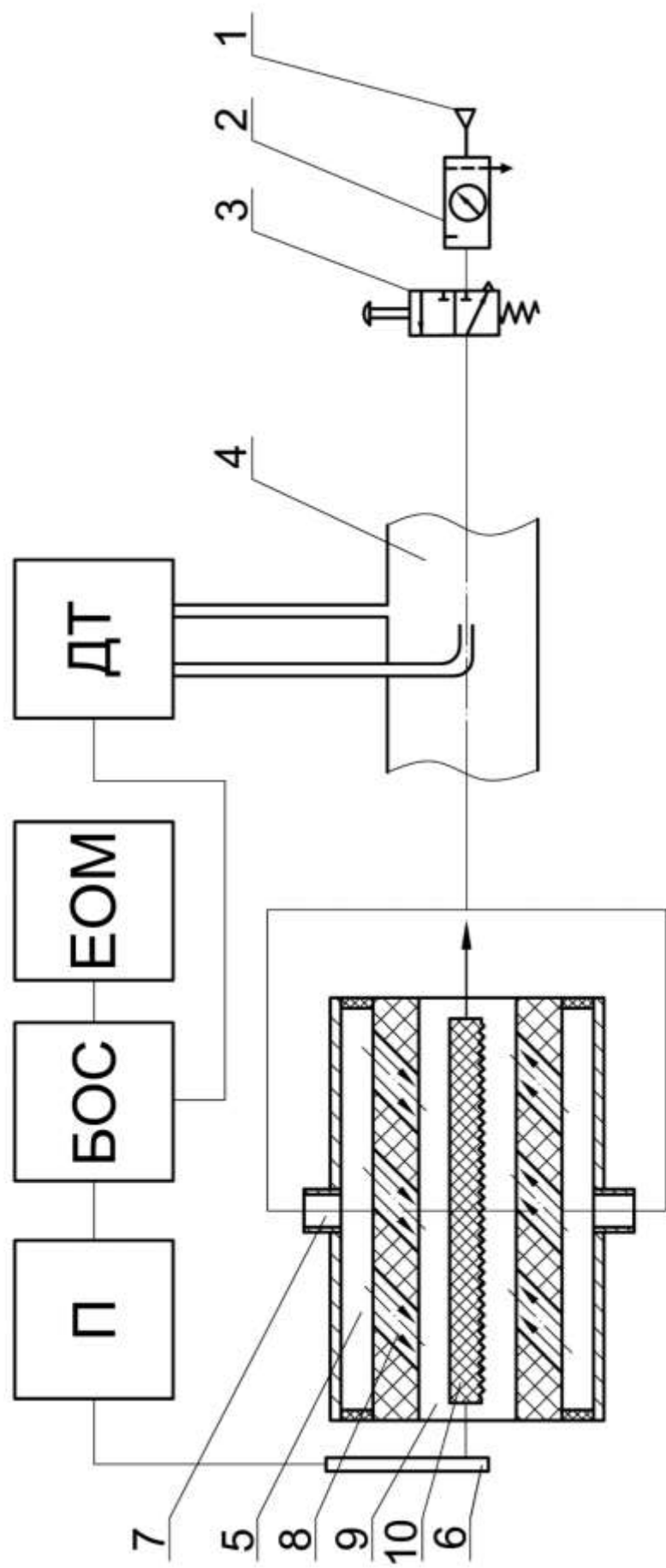


Рис. 3.10. Схема експериментального стенда для визначення зусилля переміщення деталі

Технічна характеристика експериментального стенда представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технічна характеристика експериментального стенда

1	Кут нахилу сопел, град	$\alpha=20-70$
2	Діаметр сопел, мм	$d=2-6$
3	Кількість сопел в кожній камері, шт	$n_c=3-19$
4	Внутрішній діаметр впускного патрубку, мм	$D=8$
5	Робочий тиск, бар	$P=6$
6	Максимальна віддаль між камерами, мм	$H=30$

Схема дії складових сил від впливу повітряного струменя на плоску деталь у початковий момент контролю, коли деталь перекриває всі сопла, наведена в роботі [82].

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 програмного забезпечення. Потім будуються необхідні графіки.

3.1.2. Постановка задач та планування експерименту. Вибір та обґрунтування факторів, які впливають на досліджуваний процес

При виконанні експериментальних досліджень потрібно вирішити наступні задачі:

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

4. Зробити перевірку експериментально встановлених та аналітично розрахованих значень зусиль переміщення деталей.

Для вирішення задачі 1 необхідно провести експеримент по дослідженню впливу віддалі між несучими поверхнями камер H на зусилля переміщення деталі на позиції контролю.

Задачі 2-3 можуть бути вирішені шляхом проведення центрально-композиційного планування (ЦКП) експерименту [115, 116].

3.1.2.1 Дослідження впливу віддалі між несучими поверхнями камер на зусилля переміщення деталі на позиції контролю

Виходячи з того, що величина зазору між поверхнею камери і деталлю повинна бути $h \geq 0,25d$, як описано в розділі 3 необхідно знайти таку відстань між камерами H , при якій зусилля переміщення F буде максимальним:

$$H = 2h + \delta, \quad (3.2)$$

де δ - товщина деталі.

Для визначення впливу оптимальної віддалі між несучими поверхнями камер H на зусилля переміщення деталі F на позиції контролю, було використано експериментальний стенд – рис. 3.1 та схему – рис. 3.10.

Для виконання експерименту спроектовано в програмному середовищі SolidWorks (додаток Е, рис. Е1) та виготовлені шляхом 3D друку з подальшою механічною обробкою (рис. 3.11) пластини з соплами в таких варіаціях: пластина №1 (рис. 3.11, а); пластина №2 (рис. 3.11, б).



а)

б)

Рис. 3.11. Пластини з соплами виготовлені шляхом 3D друку:

а) $n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм; б) $n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм

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. 3.10) змінювалась відстань між постійно закріпленою камерою 1 (рис. 3.12) та камерою 2, яка може змінювати своє положення по горизонталі на станині 3, шляхом відпусканням гвинтів 4.

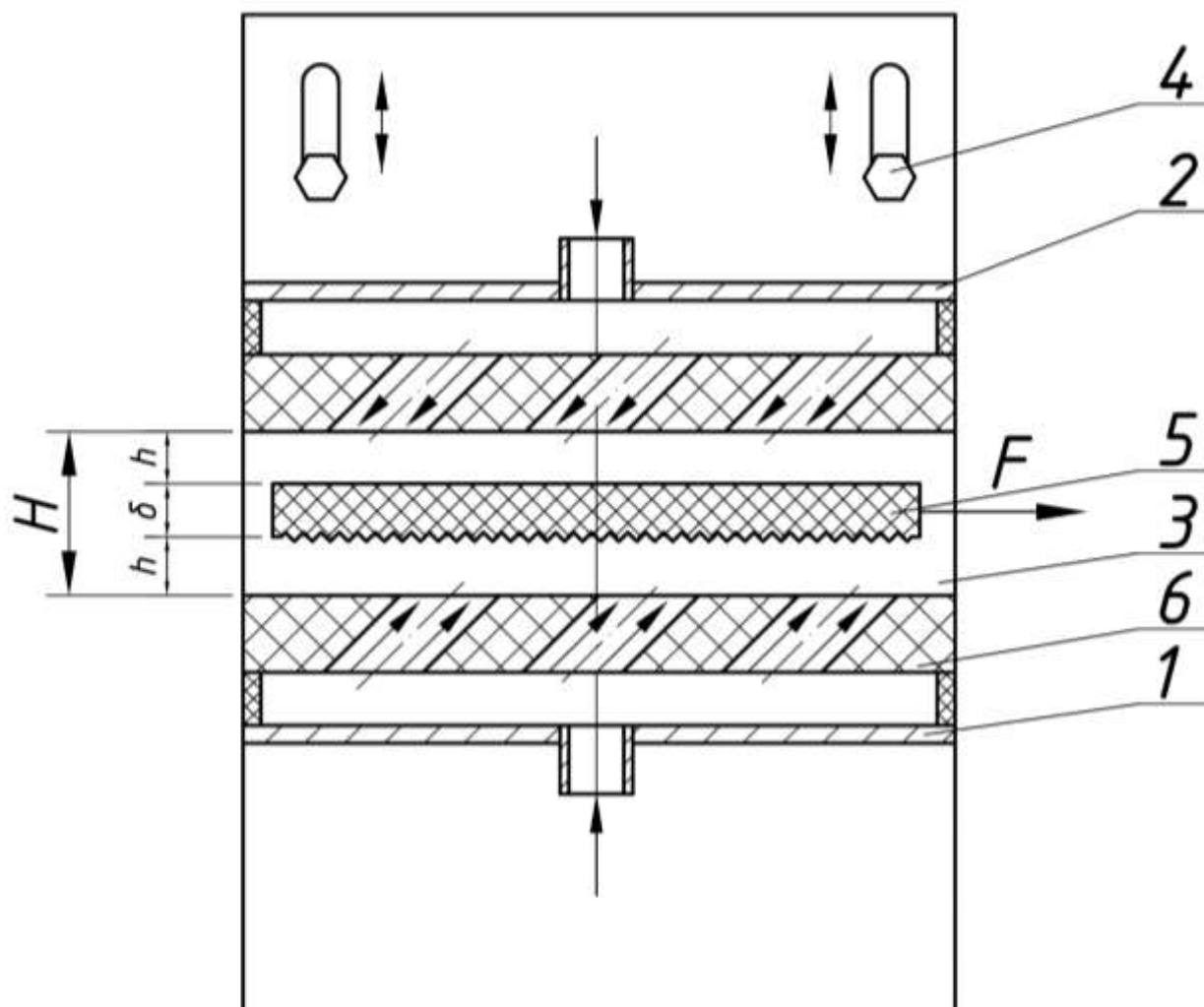


Рис. 3.12. Схема визначення впливу віддалі між несучими поверхнями камер H на зусилля переміщення деталі F на позиції контролю

Відстані між камерами 1 і 2 та деталю 5 встановлювалась в межах від мінімальної (формула (3.2)) 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 (додаток Е, рис. Е2).

Експериментальні дослідження проводились з деталями із двох видів матеріалів, що мають різну величину нерівностей на протилежних поверхностях – матеріалу EVA (найбільша товщина деталі) та шкіра яловича (найменша товщина деталі). Розміри зразків – 100x180 мм. Діаметр сопел і їх кількість обрано з таким розрахунком, щоб сума площ перерізів сопел дорівнювала площі перерізу впускного патрубка. Кут нахилу сопел $\alpha=45^\circ$ - оптимальний кут, при якому деталі не торкаються несучих поверхонь камер.

Результати зміни зусилля переміщення деталі F з матеріалу EVA та шкіри яловичої на позиції контролю при зміні зазору між поверхнею камери і деталлю h при різних пластинах з соплами представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати зміни зусилля переміщення деталі на позиції контролю в залежності від зазору між поверхнею камери і деталлю

№	Назва матеріалу	Пластина	h , мм	F , Н
1	EVA	Пластина №1 ($n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм)	1.5	0.2679
			2.5	0.2465
			3.5	0.217
		Пластина №2 ($n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм)	0.5	0.432
			1.5	0.3997
			2.5	0.3456
2	Шкіра яловича	Пластина №1 ($n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм)	1.5	0.1102
			2.5	0.0977
			3.5	0.0817
		Пластина №2 ($n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм)	0.5	0.1438
			1.5	0.1302
			2.5	0.1125

Залежність зусилля переміщення деталі F на позиції контролю з матеріалу EVA від зазору між поверхнею камери і деталлю h при різних пластинах з соплами показано на рис. 3.13.

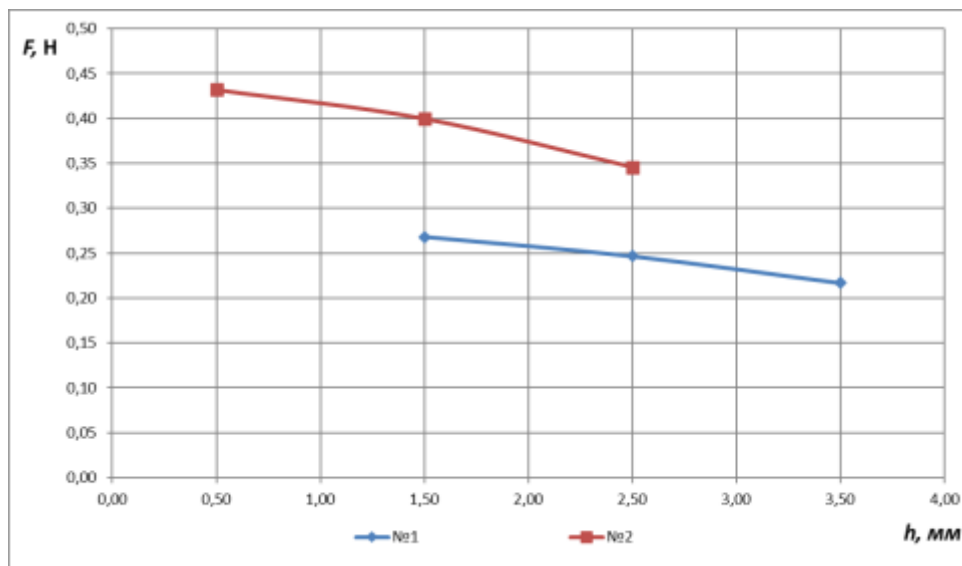


Рис. 3.13. Графічна залежність зусилля переміщення деталі F на позиції контролю з матеріалу EVA від зазору між поверхнею камери і деталлю h при використанні пластин з соплами №1 ($n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм) і №2 ($n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм)

Залежність зусилля переміщення деталі F на позиції контролю зі шкіри яловичої від зазору між поверхнею камери і деталлю h при різних пластинах з соплами показано на рис. 3.14.

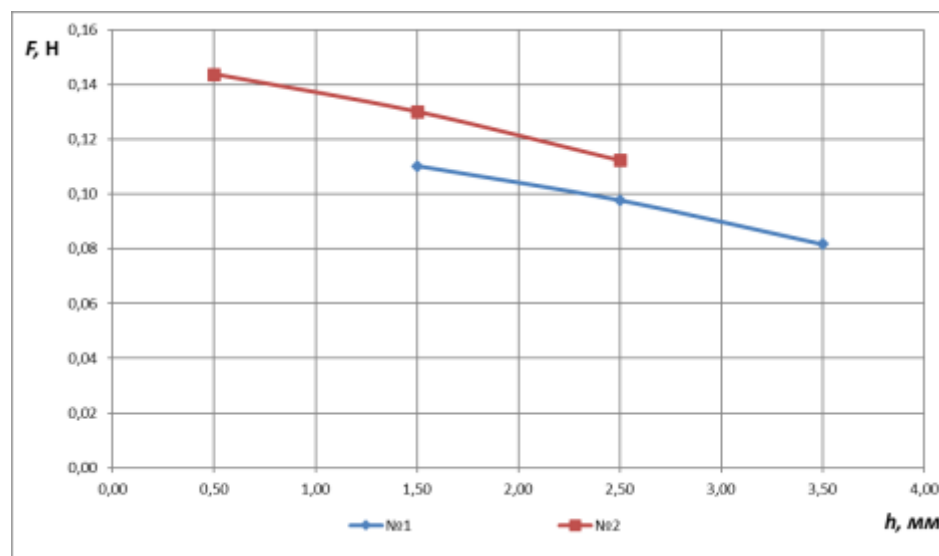


Рис. 3.14. Графічна залежність зусилля переміщення деталі F на позиції контролю зі шкіри яловичої від зазору між поверхнею камери і деталлю h при використанні пластин з соплами №1 ($n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм) і №2 ($n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм)

Аналіз графічних залежностей (рис. 3.13, 3.14) показав, що оптимальна величина зазору між поверхнею камери і деталлю h при якій, зусилля переміщення деталі F на позиції контролю буде максимальним становить 1.5 мм для пластини №1 та 0.5 для пластини №2 в обох випадках.

3.1.2.2 Проведення експериментальних досліджень шляхом центрально-композиційного планування

Експерименти проводилися з деталями з матеріалу EVA (рис.3.15, а) та штучним хутром (рис. 3.15, б), що мають відмінність у нерівностях і ворсистості протилежних поверхонь.

При плануванні експериментів в якості факторів, що впливають на зусилля переміщення деталі F на позиції контролю були використанні: кут нахилу сопел – α та кількість сопел у кожній камері – n_c .



Рис. 3.15. Тестові деталі з матеріалу EVA (а) та штучного хутра (б)

Кут нахилу сопел α було обрано в діапазоні від 20° до 70° , 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 патрубку.

При дослідженні впливу обраних факторів на процес контролю, керувались такими вимогами [117-122]:

1. Незалежність, тобто, можливість встановлення фактора на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших чинників. Якщо ця умова нездійсненна, то планувати експеримент неможливо [117]. Обидва фактора, які ми обрали для планування експерименту є незалежними один від одного.

2. Сумісність. При плануванні експерименту зазвичай одночасно змінюється кілька факторів. Тому дуже важливо сформулювати вимоги, які висуваються до сукупності факторів. Сумісність факторів означає, що всі їх комбінації здійсненні [118]. Всі комбінації пластин з різним кутом нахилу та кількістю сопел ми можемо спроектувати завдяки програмному забезпеченні SolidWorks, а потім їх виготовити на 3D-принтері.

3. Керованість. Це означає, що ми, обравши потрібне значення фактора, можемо підтримувати його постійним протягом усього дослідження, тобто, можемо керувати фактором. Планування експерименту можливе у разі, якщо рівні факторів підпорядковуються досліднику. Завдяки розробленій конструкції експериментального стенда ми можемо під час дослідів замінювати пластини з різними комбінаціями кутів нахилу сопел та їх кількістю.

4. Точність виміру. Ступінь точності визначається діапазоном зміни факторів. Якщо фактори вимірюють з великою похибкою чи особливістю об'єкта дослідження така, що значення факторів важко підтримувати на заданому рівні (рівень чинника «пливе»), то досліднику слід звернутися до інших методів дослідження об'єкта [119]. Використання датчика тиску з максимальною похибкою в 2.5% та тензодатчика – в 3%, дає нам змогу проводити дослідження з високою точністю вимірювань.

5. Однозначність, тобто, безпосередній вплив факторів на об'єкт. За попередніми дослідженнями було встановлено фактори, які найбільше впливають на зусилля переміщення деталі.

ЦКП складається з трьох частин: основа плану – це повно факторний експеримент 2^k , де k – кількість факторів; друга частина – це дослід в середині в середині плану $N_0 \geq 1$ з координатами $(0,0,0,\dots,0)$; третя – так звані «зіркові» точки, розташовані на осях фіктивного простору, координати яких: $(\pm\alpha, 0, \dots, 0)$,

$(0, \pm\alpha, 0, \dots, 0), \dots, (0, \dots, 0, \pm\alpha)$, де α – відстань від центра плану до «зіркової» точки – «зіркового плеча» [120].

Ступінь точності математичної моделі визначається діапазоном зміни факторів. В результаті попередньої роботи кожного i -го фактора встановлюють такі значення: x_{i0} – основний рівень фактора; x_{imax}, x_{imin} – верхній та нижній рівні i -го фактора, які приймаються під час дослідів; Δx_i – інтервал варіювання (зміни).

Під час проведення експериментів використовуються кодовані значення рівнів чинників. При цьому основний рівень приймається рівним нулю, верхній кодується як +1, а нижній кодується як -1. Кодування здійснюється за формулою [122]:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad i = 1, \dots, k. \quad (3.3)$$

Число всіх точок факторного простору при дворівневій системі зміни факторів, у яких експериментально необхідно визначити значення функції відгуку, дорівнює 2^k , де k – кількість факторів [122].

Число дослідів ЦКП визначається за наступною формулою:

$$N = N_0 + 2k + n_0, \quad (3.4)$$

де N_0 - число дослідів повно факторного експерименту 2^k ; n_0 – кількість дослідів в центрі плану.

Отже, проведено планування експерименту із застосуванням ЦКП типу 2^k , $k=2$, кількість дослідів $N=9$, кількість дослідів в центрі плану $n_0=1$, кількість паралельних дослідів $m=5$, величина «зіркового плеча» $\alpha=1$.

Граничні рівні факторів і відповідні їм кодовані значення представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Граничні рівні факторів і кодовані значення

Фактори		x_1	x_2
Одиниця вимірювання		<i>град</i>	<i>шт.</i>
Інтервал варіювання, Δx_i		25	8
Рівні факторів	-1	20	3
	0	45	11
	+1	70	19

3.1.2.3 Проведення та обробка даних експерименту

На основі таблиці 3.3 було створено матрицю планування та робочу матрицю (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4

Матриця планування та робоча матриця

j	Матриця планування						Робоча матриця		\bar{y}_j
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	α , <i>град</i>	n_c , <i>шт.</i>	F, H
1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	20	3	0.0848
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	70	3	0.1362
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	20	19	0.1999
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	70	19	0.2965
5	+1	0	0	0	0	0	45	11	0.3266
6	+1	+1	0	0	+1	0	70	11	0.1892
7	+1	-1	0	0	+1	0	20	11	0.1204
8	+1	0	1	0	0	+1	45	19	0.431
9	+1	0	-1	0	0	+1	45	3	0.2679

Середні значення зміни зусилля переміщення деталі з п'яти паралельних дослідів, які записані за допомогою плати Arduino Uno та персонального комп'ютера, записані в стовпчику \bar{y}_j .

На основі результатів експерименту розраховуємо коефіцієнти регресії за формулами [120]:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j - \beta \sum_{j=1}^N b_{il}, \quad (3.5)$$

$$b_i = c_1 \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, \quad (3.6)$$

$$b_{ij} = c_2 \sum_{j=1}^N (x_{ij}^2 - \beta) \bar{y}_j, \quad (3.7)$$

$$b_{il} = c_3 \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} \bar{y}_j, \quad (3.8)$$

де i – номер фактору; j – номер досліду; c_1, c_2, c_3 - елементи дисперсійної матриці, $c_1=0.1667, c_2=0.5, c_3=0.25; \beta=0.6667$ [120].

Відповідно:

$$b_0 = 0.3214; \quad b_1 = 0.03543; \quad b_2 = 0.06571; \quad b_{11} = -0.17067; \quad b_{22} = 0.02108; \\ b_{12} = 0.01059.$$

Перевірку відтворюваності дослідів проводимо за критерієм Кохрена [122]. Умова відтворюваності експерименту має такий вид:

$$G_p \leq G_t(0,05; N; f_U), \quad (3.9)$$

де G_p - розрахункове значення коефіцієнту Кохрена; $G_t(0,05; N; f_U)$ - табличне значення коефіцієнту Кохрена, у якому 0,05 означає 5% -й рівень значущості; $N=9$ - кількість дослідів; $f_U = (m-1)$ - число ступенів свободи кожного досліду, $m=5$ – число паралельних дослідів.

З таблиці [119] знаходимо значення коефіцієнта Кохрена:

$$G_t = 0.36$$

Розрахункове значення коефіцієнта Кохрена визначається за таким рівнянням:

$$G_p = \frac{S_{j\max}^2}{\sum S_j^2}, \quad (3.10)$$

де $S_{j\max}^2$ - найбільша з дисперсій; S_j^2 - дисперсія результатів j -го досліду.

Дисперсія експериментальних результатів розраховується за формулою:

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2, \quad (3.11)$$

де y_{ji} - значення вихідного параметру у i -й повторності; \bar{y}_j - середнє значення вихідного параметру у j -му досліді.

Відповідно:

$$S_1^2 = 4.6012 \cdot 10^{-5}; \quad S_2^2 = 2.38 \cdot 10^{-5}; \quad S_3^2 = 2.7348 \cdot 10^{-5}; \quad S_4^2 = 2.2222 \cdot 10^{-5}; \\ S_5^2 = 5.2517 \cdot 10^{-5}; \quad S_6^2 = 1.81 \cdot 10^{-5}; \quad S_7^2 = 6 \cdot 10^{-5}; \quad S_8^2 = 1.7447 \cdot 10^{-5}; \quad S_9^2 = 2.4427 \cdot 10^{-5}.$$

За формулою (3.6) розраховуємо значення критерію Кохрена:

$$G_p = 0.20556,$$

Порівнюємо його з табличним значенням:

$$0.20556 < 0.36, \quad G_p < G_t.$$

Отже, процес відтворюється, дисперсії однорідні.

Деякі з коефіцієнтів регресії можуть бути не значущими. Оцінка робиться за t -критерієм Стюдента. Для кожного з коефіцієнтів b_j обчислюється коефіцієнт t_j , перевіряється відхилення від нуля знайдених оцінок:

$$t_j = \frac{|b_j|}{Sb_j}, \quad (3.12)$$

де Sb_j - оцінка стандартного відхилення помилки визначення коефіцієнта.

Оцінка дисперсії коефіцієнтів, отриманих з експериментальних даних:

$$S^2 b_j = \frac{S_e^2}{N \cdot m}. \quad (3.13)$$

Оцінка дисперсії відтворюваності S_e^2 , що характеризує точність одного вимірювання, є середнє значення всіх відрядкових дисперсій:

$$S_e^2 = \sum_{i=1}^N \frac{S^2 b_j}{N}. \quad (3.14)$$

З обраного рівня статистичної значущості α (з таблиці розподілу Стюдента за кількістю ступенів свободи $f = N(m-1)$) отримують значення з таблиці коефіцієнтів $t_{табл}$. Значення в таблиці порівнюють із розрахунковими значеннями коефіцієнтів. Якщо нерівність виконується $t_{табл} > t_j$, знайдений

коефіцієнт b_j вважається статистично незначущим і має бути виключений із рівняння регресії.

Отже, за формулами (3.13) та (3.14) розраховуємо оцінку дисперсії коефіцієнтів та відтворюваності:

$$S_g^2 = 3.2432 \cdot 10^{-5},$$

$$Sb_j = 8.489 \cdot 10^{-4}.$$

Знаходимо за формулою (3.12) розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента:

$$t_0 = 384.144; t_1 = 43.821; t_2 = 86.347; t_3 = 201.319; t_4 = 28.979; t_5 = 15.314.$$

При довірчій вірогідності 95% і кількістю ступенів свободи дисперсії відтворюваності $f = 9(5-1) = 36$ знаходимо табличне значення критерію Стьюдента [122]. Воно відповідно дорівнює $t_{табл} = 3.03$. Порівнявши розрахункові значення t_j з табличним значенням $t_{табл}$, бачимо, що всі коефіцієнти рівняння регресії значущі.

Рівняння регресії (у кодованій системі) має наступний вигляд:

$$y_p = 0.32137 + 0.03543 \cdot x_1 + 0.06571 \cdot x_2 - 0.17067 \cdot x_1^2 + 0.02108 \cdot x_2^2 + 0.01059 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3.15)$$

Значення коефіцієнтів рівняння регресії (3.15) в кодованому вигляді нам показує величину впливу факторів (α, n_c) на вихідний параметр – зусилля переміщення F .

Знайдене рівняння регресії необхідно перевірити на предмет його відповідності об'єкту дослідження, тобто на його адекватність. Для цього необхідно оцінити, наскільки середні значення \bar{y}_j вихідної величини, отримані в кожній точці факторного простору, відрізняються від y_p значень, отриманих за рівнянням регресії в тій самій точці факторного простору. Для цього використано дисперсію адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-L} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_{ji} - y_{pi})^2, \quad (3.16)$$

де L – число членів рівняння регресії, після оцінки значущості.

Перевірку адекватності моделі виконуємо за F -критерієм Фішера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2}. \quad (3.17)$$

Розраховане значення F_p порівнюють з табличним значення F_m , яке визначається за числом ступенів свободи дисперсії адекватності ($f_0 = 36$) та числом ступенів свободи $f_{ad} = N - L = 9 - 5 = 4$. Якщо $F_p < F_m$, то математична модель є адекватною [120].

Значення відгуку в кожному i -му досліді, яке визначаємо шляхом обчислення коефіцієнтів полінома:

$$y_1 = 0.32137 + 0.03543 \cdot (-1) + 0.06571 \cdot (-1) - 0.17067 \cdot (-1)^2 + 0.02108 \cdot (-1)^2 + 0.01059 \cdot (-1) \cdot (-1) = 0.082;$$

$$y_2 = 0.131; \quad y_3 = 0.203; \quad y_4 = 0.303; \quad y_5 = 0.326; \quad y_6 = 0.192; \quad y_7 = 0.118; \\ y_8 = 0.424; \quad y_9 = 0.277.$$

Розраховуємо квадрати різниць за формулою:

$$\Delta y_{ji} = (\bar{y}_{ji} - y_{pi})^2. \quad (3.18)$$

Відповідно:

$$\Delta y_{j1} = (0.0848 - 0.082)^2 = 7.812 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j2} = (0.1362 - 0.131)^2 = 2.704 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j3} = (0.1999 - 0.203)^2 = 9.61 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j4} = (0.2965 - 0.303)^2 = 4.225 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j5} = (0.3266 - 0.326)^2 = 3.6 \cdot 10^{-7};$$

$$\Delta y_{j6} = (0.1892 - 0.192)^2 = 7.93 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j7} = (0.1204 - 0.118)^2 = 5.76 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j8} = (0.431 - 0.424)^2 = 4.9 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j9} = (0.2679 - 0.277)^2 = 8.354 \cdot 10^{-5}.$$

Оцінка дисперсії адекватності (3.16):

$$S_{ad}^2 = 5.833 \cdot 10^{-5}.$$

Розрахункове значення коефіцієнту Фішера за формулою (3.17) буде становити:

$$F_p = \frac{5.833 \cdot 10^{-5}}{3.2432 \cdot 10^{-5}} = 1.8,$$

що менше табличного значення $F_p = 1.8 < F_m(0.05; 4; 36) = 2.63$.

Отже, отримане рівняння регресії адекватно описує процес зміни зусилля переміщення деталі з матеріалу EVA.

Підставивши коефіцієнти та кодовані значень факторів у рівняння (3.15), отримали рівняння регресії в натуральному вигляді:

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot \alpha - 0.00165 \cdot n_c - 0.000273 \cdot \alpha^2 + 0.000375 \cdot n_c^2 + 0.000057 \cdot \alpha \cdot n_c. \quad (3.19)$$

Знайдене рівняння регресії показує взаємозв'язок зусилля переміщення F з такими факторами, як кут нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c . Судячи з коефіцієнтів рівняння (3.19), більший вплив на зусилля переміщення F має величина кута нахилу сопел α , менший вплив має кількість сопел у кожній камері n_c .

Для наочного представлення результатів експерименту за допомогою системи математичного моделювання MathCAD 15 було побудовано графічну залежність досліджуваної поверхні відгуку. Вона показує спільний вплив кута нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c на зусилля переміщення F .

Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення $F=f(\alpha, n_c)$ при куті нахилу сопел α та кількості сопел у кожній камері n_c на рівні від “-1” до “1” показана на рис. 3.16.

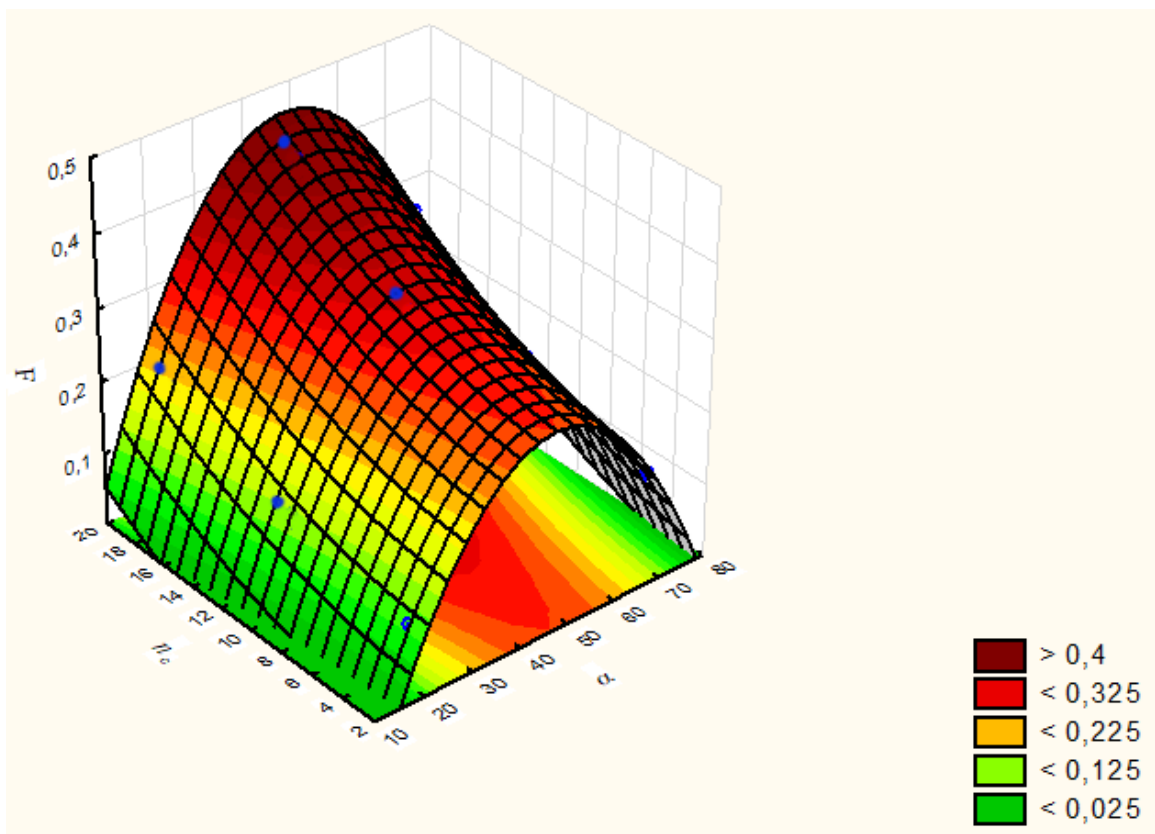


Рис. 3.16 Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення $F=f(\alpha, n_c)$ при кут нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c на рівні від “-1” до “1”

Залежність зусилля переміщення F деталі з матеріалу EVA від кута нахилу сопел α при кількостях сопел у кожній камері $n_c=(3;11;19)$ показано на рис. 3.17.

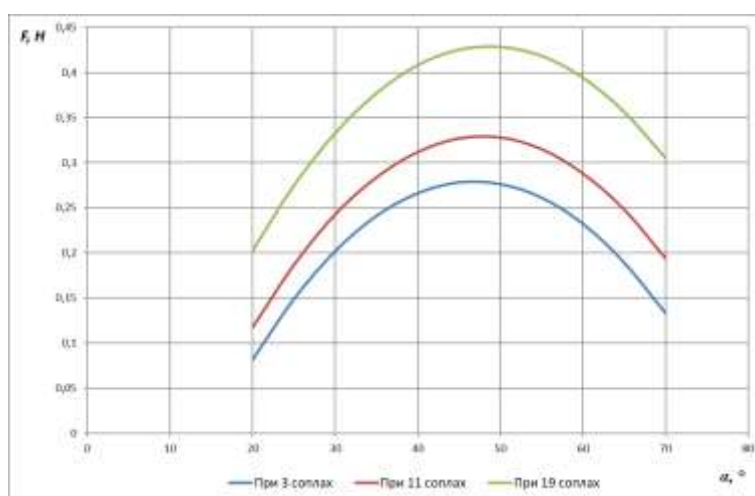


Рис. 3.17. Графічна залежності зусилля переміщення F деталі з матеріалу EVA від кута нахилу сопел $\alpha=(20^\circ\sim 70^\circ)$ при кількостях сопел $n_c=(3;11;19)$

На графічній залежності рис. 3.18 представлено зміна мінімального зусилля переміщення F для деталі з матеріалу EVA та динамічного тиску ΔP від часу t на позиції контролю.

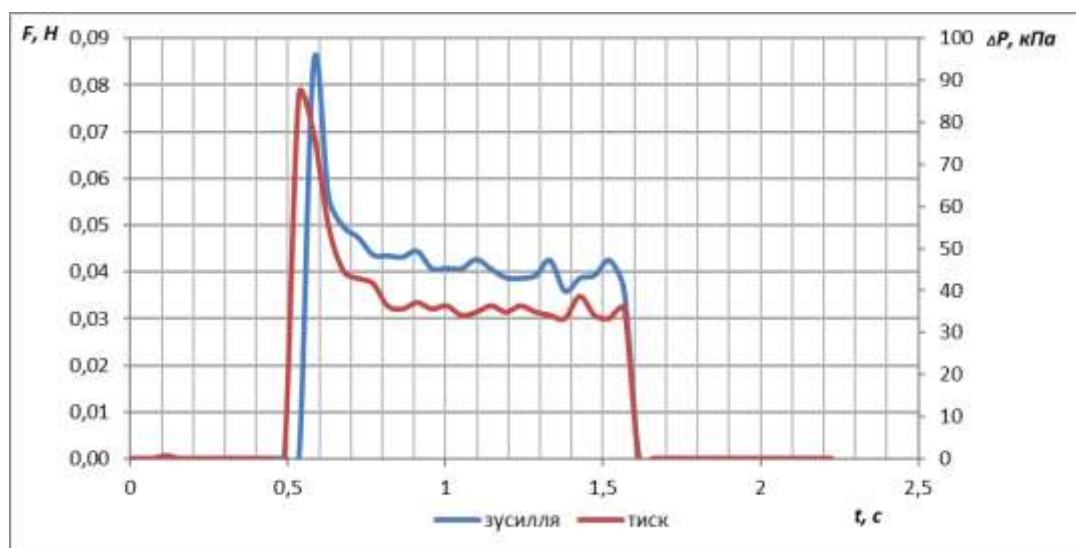


Рис. 3.18. Графічна залежність зміни зусилля переміщення F деталі з матеріалу EVA та динамічного тиску ΔP від часу t при $n_c=3$ і $\alpha=70^\circ$ на позиції контролю

На графічній залежності рис. 3.19 представлено зміна максимального зусилля переміщення F для деталі з матеріалу EVA та динамічного тиску ΔP від часу t на позиції контролю.

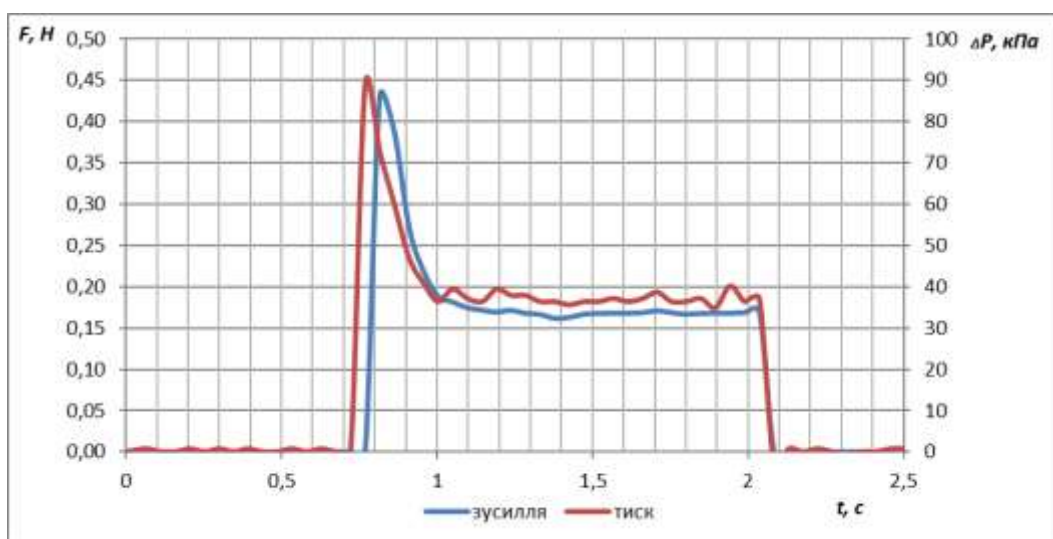


Рис. 3.19. Графічна залежність зміни зусилля переміщення F деталі з матеріалу EVA та динамічного тиску ΔP від часу t при $n_c=19$ і $\alpha=45^\circ$ на позиції контролю

Аналіз графічних залежностей, представлених на рис. 3.16-3.19 дає змогу нам визначити значення зусилля переміщенні F деталі з матеріалу EVA при різних поєднаннях кутів нахилу сопел α та кількості сопел у кожній камері n_c при її переміщенні на позиції контролю. Дані значення наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Значення зусилля переміщенні при різних поєднання незалежних факторів для деталі з деталі з матеріалу EVA

Значення	Зусилля переміщення F, H	Параметри	
		Кут нахилу сопел α , град	Кількість сопел у кожній камері n_c , шт.
Максимальне значення	0.431	48-49	19
Мінімальне значення	0.0848	20	3
Діапазон вимірювання	0.0848-0.431	20-70	3-19
Оптимальне значення	0.431	48	19

Таким чином експериментально встановлено параметри камер – кут нахилу сопел α та кількість сопел в кожній камері n_c для максимального зусилля переміщення.

Також було проведено експериментальні дослідження зусилля переміщення F на позиції контролю для деталі зі штучного хутра. Воно знаходилось аналогічно до пунктів, описаних вище, при визначенні зусилля переміщення F на позиції контролю для деталі з матеріалу EVA.

Граничні рівні факторів і відповідні їм кодовані значення були такі ж самі як і при дослідженні деталі з матеріалу EVA, їх величини представленні в таблиці 3.3. Матриця планування та робоча матриця наведена в додатку Е, таблиця Е1.

Коефіцієнти регресії (3.5-3.8):

$$b_0 = 0.15656; \quad b_1 = -0.00501; \quad b_2 = 0.00862; \quad b_{11} = -0.13783;$$

$$b_{22} = 0.00702; \quad b_{12} = -0.00901.$$

Умову відтворюваності експерименту перевіряємо за формулою (3.9).

Табличне значення коефіцієнта Кохрена буде теж саме, що й в попередніх дослідженнях:

$$G_t = 0.36.$$

Дисперсія експериментальних значень (3.11):

$$S_1^2 = 1.0905 \cdot 10^{-5}; \quad S_2^2 = 6.18 \cdot 10^{-5}; \quad S_3^2 = 2.0591 \cdot 10^{-5}; \quad S_4^2 = 2.622 \cdot 10^{-6};$$

$$S_5^2 = 4.2145 \cdot 10^{-5}; \quad S_6^2 = 5.33 \cdot 10^{-6}; \quad S_7^2 = 5.4498 \cdot 10^{-5}; \quad S_8^2 = 3.0265 \cdot 10^{-5};$$

$$S_9^2 = 2.826 \cdot 10^{-5}.$$

Розрахункове значення коефіцієнта Кохрена (3.6):

$$G_p = 0.24091.$$

Порівнюємо його з табличним значенням:

$$0.24091 < 0.36.$$

Отже, процес відтворюється.

Перевіряємо коефіцієнти регресії на значущість за t -критерієм Стьюдента.

Оцінку дисперсії відтворюваності (3.14):

$$S_g^2 = 2.8487 \cdot 10^{-5}.$$

Оцінка дисперсії коефіцієнтів, отриманих з експериментальних даних (3.13):

$$Sb_j = 7.155 \cdot 10^{-4}.$$

Розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента (3.12):

$$t_0 = 218.814; \quad t_1 = 7.002; \quad t_2 = 12.048; \quad t_3 = 192.636; \quad t_4 = 9.811;$$

$$t_5 = 12.593.$$

Табличне значення коефіцієнта Стьюдента буде теж саме, що й в попередніх дослідженнях.

$$t_{\text{табл}} = 3.03.$$

Порівнявши розрахункові значення коефіцієнта Стьюдента з табличним значенням бачимо, що всі коефіцієнт рівняння регресії значущі.

Рівняння регресії (у кодованій системі) має наступний вигляд:

$$y_p = 0.15656 - 0.00501 \cdot x_1 + 0.00862 \cdot x_2 - 0.13783 \cdot x_1^2 + 0.00702 \cdot x_2^2 - 0.00901 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3.20)$$

Виконуємо перевірку адекватності рівняння регресії за F -критерієм Фішера.

Значення відгуку в кожному i -му досліді:

$$y_1 = 0.15656 - 0.00501 \cdot (-1) + 0.00862 \cdot (-1) - 0.13783 \cdot (-1)^2 + 0.00702 \cdot (-1)^2 - 0.00901 \cdot (-1) \cdot (-1) = 0.013;$$

$$y_2 = 0.021; \quad y_3 = 0.048; \quad y_4 = 0.02; \quad y_5 = 0.157; \quad y_6 = 0.014; \quad y_7 = 0.024; \\ y_8 = 0.172; \quad y_9 = 0.155.$$

Квадрати різниць (3.18):

$$\Delta y_{j1} = (0.15 - 0.013)^2 = 4 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j2} = (0.017 - 0.021)^2 = 1.6 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j3} = (0.05423 - 0.048)^2 = 3.881 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j4} = (0.02018 - 0.02)^2 = 3.24 \cdot 10^{-8};$$

$$\Delta y_{j5} = (0.16 - 0.157)^2 = 9 \cdot 10^{-6};$$

$$\Delta y_{j6} = (0.018002 - 0.014)^2 = 1.602 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j7} = (0.016004 - 0.024)^2 = 6.394 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j8} = (0.1665 - 0.172)^2 = 3.025 \cdot 10^{-5};$$

$$\Delta y_{j9} = (0.1572 - 0.155)^2 = 4.84 \cdot 10^{-6}.$$

Оцінка дисперсії адекватності (3.16):

$$S_{ad}^2 = 6.096 \cdot 10^{-5}.$$

Розрахункове значення коефіцієнта Фішера (3.17):

$$F_p = \frac{6.096 \cdot 10^{-5}}{2.84868 \cdot 10^{-5}} = 2.14,$$

що менше табличного значення $F_p = 2.14 < F_m(0.05; 3; 36) = 2.86$.

Отже, отримане рівняння регресії адекватно описує процес зміни зусилля переміщення деталі зі штучного хутра.

Підставивши коефіцієнти та кодовані значень факторів у рівняння (3.20), отримали рівняння регресії в натуральному вигляді:

$$F = -0.302 + 0.020152 \cdot \alpha + 0.00069 \cdot n_c - 0.000221 \cdot \alpha^2 + 0.000125 \cdot n_c^2 - 0.000048 \cdot \alpha \cdot n_c. \quad (3.21)$$

Знайдене рівняння регресії (3.21) показує взаємозв'язок зусилля переміщення F з такими факторами, як кут нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c .

Для наочного представлення результатів експерименту за допомогою системи математичного моделювання MathCAD 15 було побудовано графічну залежність досліджуваної поверхні відгуку. Вона показує спільний вплив кута нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c на зусилля переміщення F .

Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення $F=f(\alpha, n_c)$ при кут нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c на рівні від “-1” до “1” показана на рис. 3.20.

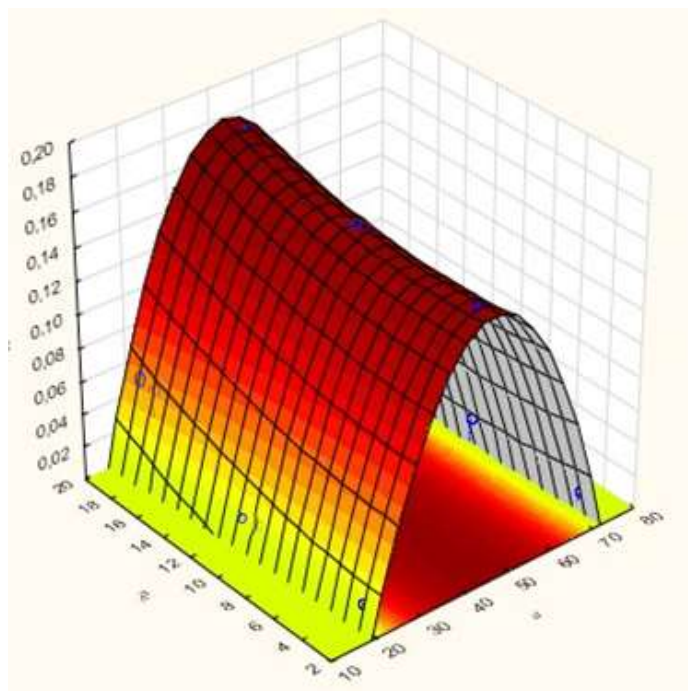


Рис. 3.20. Графічна залежність функції відгуку зусилля переміщення $F=f(\alpha, n_c)$ при кут нахилу сопел α та кількість сопел у кожній камері n_c на рівні від “-1” до “1”

Залежність зусилля переміщення F деталі зі штучного хутра від кута нахилу сопел α при кількостях сопел у кожній камері $n_c=(3;11;19)$ показано на рис. 3.21.

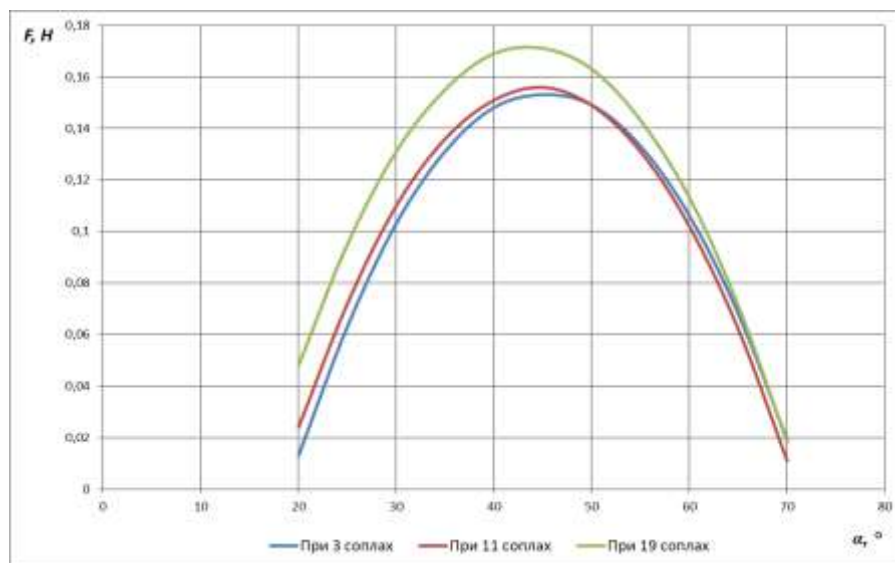


Рис. 3.21. Графічна залежність зусилля переміщення F деталі зі штучного хутра від кута нахилу сопел $\alpha=(20^\circ\sim 70^\circ)$ при кількостях сопел $n_c=(3;11;19)$

На графічних залежностях рис. 3.22-3.23 представлено залежності зміни зусилля переміщення F для деталі зі штучного хутра та динамічного тиску ΔP від часу t на позиції контролю при мінімальному (рис. 3.22) та максимальному (рис. 3.23) значенні F .

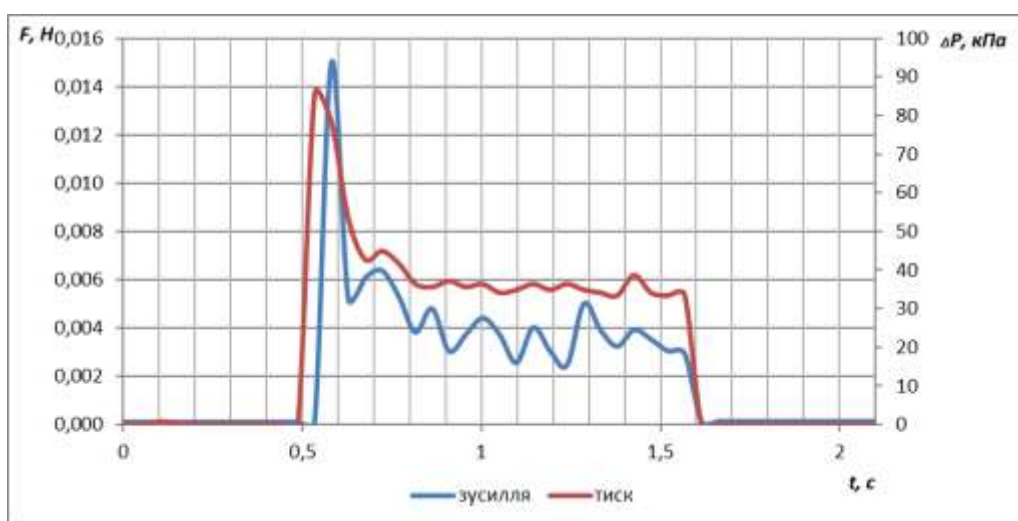


Рис. 3.22. Графічна залежність зміни зусилля переміщення F деталі зі штучного хутра та динамічного тиску ΔP від часу t при $n_c=3$ і $\alpha=20^\circ$ на позиції контролю

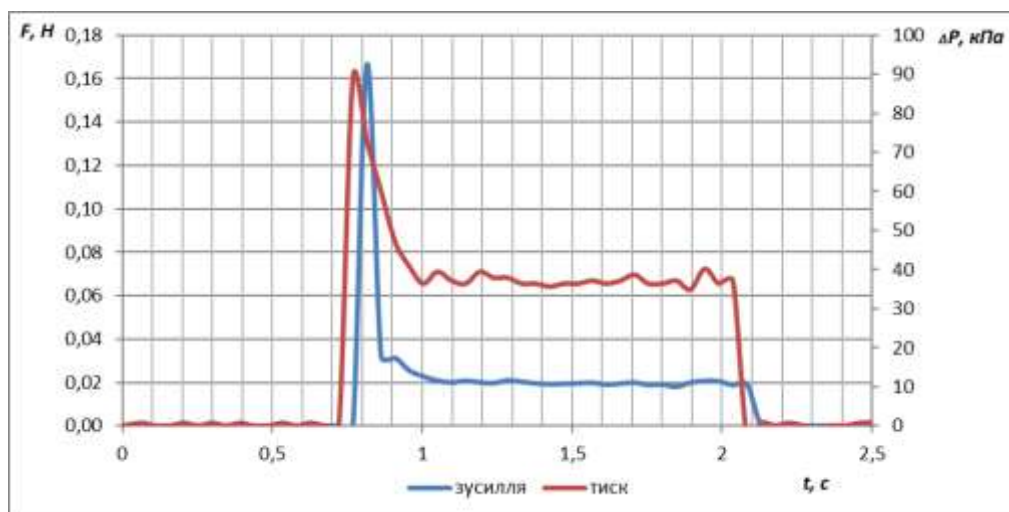


Рис. 3.23. Графічна залежність зміни зусилля переміщення F деталі зі штучного хутра та динамічного тиску ΔP від часу t при $n_c=19$ і $\alpha=45^\circ$ на позиції контролю

Аналіз графічних залежностей, представлених на рис. 3.20-3.23 дає змогу нам визначити значення зусилля переміщенні F деталі зі штучного хутра при різних поєднаннях кутів нахилу сопел α та кількості сопел у кожній камері n_c при її переміщенні на позиції контролю. Дані значення наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Значення зусилля переміщенні при різних поєднання незалежних факторів для деталі зі штучного хутра

Значення	Зусилля переміщення F, H	Параметри	
		Кут нахилу сопел α , град	Кількість сопел у кожній камері n_c , шт.
Максимальне значення	0.1665	45	19
Мінімальне значення	0.015	20	3
Діапазон вимірювання	0.015-0.1665	20-70	3-19
Оптимальне значення	0.1665	45	19

3.2. Визначення коефіцієнта тертя

Визначення коефіцієнта тертя проводилися для деталей, які досліджуються.

Для визначення коефіцієнта тертя було обрано метод «похилої площини» [123].

Загальний вигляд установки для визначення коефіцієнта тертя представлено на рис. 3.24.

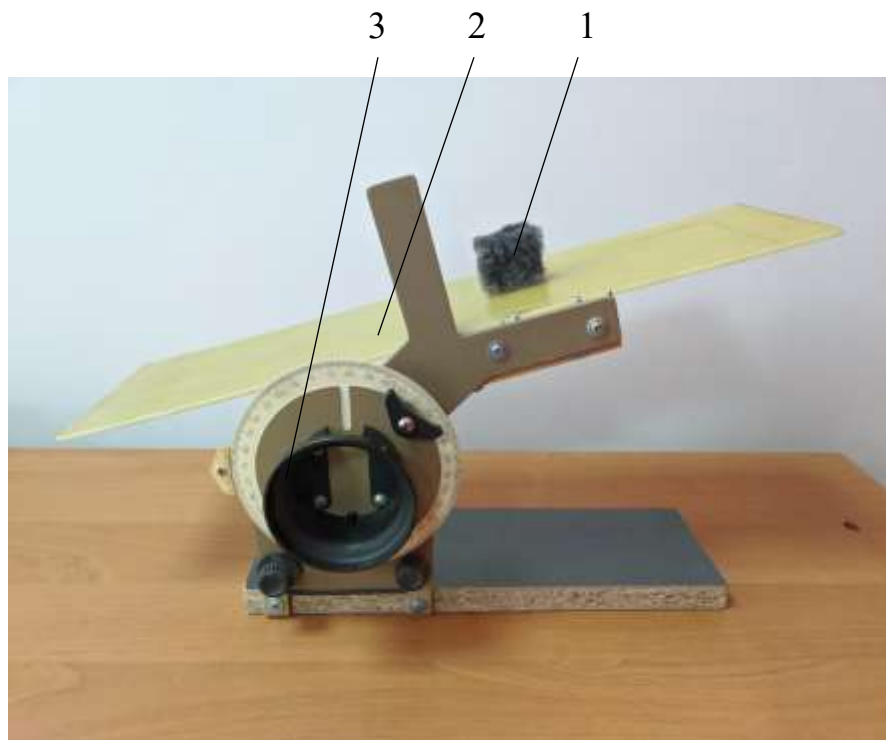


Рис. 3.24. Загальний вигляд установки для визначення коефіцієнта тертя

Для визначення коефіцієнта сили тертя дослідний зразок 1 встановлюємо на похилу поверхню 2, виконану із фторопласта, який має високі антифрикційні властивості, кут нахилу якої до горизонталі можна змінювати за допомогою вузла повороту 3 (рис. 3.24). Фіксуємо кут нахилу площини до горизонту в момент, коли дослідний зразок деталі 1 починає ковзати по похилій площині 2 або рухатися по ній з постійною швидкістю. Зафіксований при цьому кут нахилу площини буде кутом тертя спокою. Щоб виміряти кут тертя ковзання, відновлюємо положення похилої площини 2, при якій дослідний зразок деталі 1 сповзав до низу і одночасно плавно крутимо вузол повороту 3, до зупинки по

ній дослідного зразка деталі 1. Зафіксований при цьому кут буде кутом тертя ковзання.

На рис. 3.25 [124] зображені сили, що діють на дослідний зразок деталі А. Тіло починає ковзати по похилій площині, значить в граничному випадку:

$$\vec{F}_{mp}^{ck} = \vec{F}_{ck}, \quad (3.22)$$

де \vec{F}_{ck} - сила ковзання.

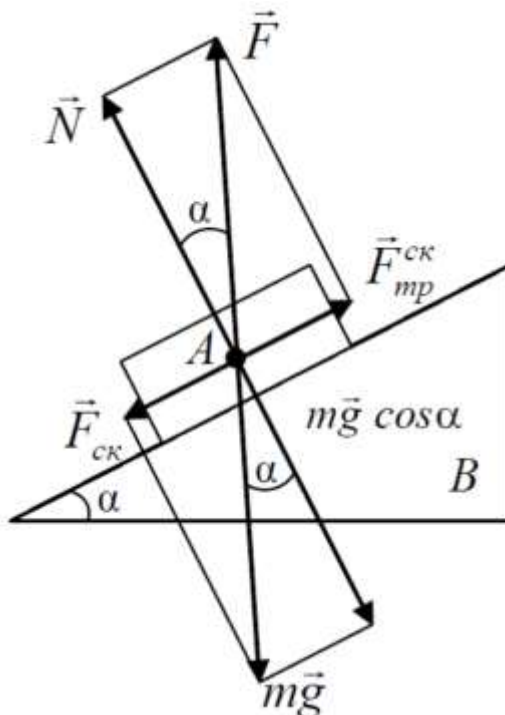


Рис. 3.25. Схема дії сил на похилій площині на дослідний зразок деталі А

З схеми дії сил на похилій площині на дослідний зразок деталі А (рис. 3.25):

$$\vec{F}_{ck} = \vec{F}_{mp}^{ck} = mg \sin \alpha, \quad (3.23)$$

$$N = mg \cos \alpha. \quad (3.24)$$

Тоді:

$$\mu = \frac{F_{mp}^{ck}}{N} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.25)$$

Таким чином коефіцієнт тертя дорівнює тангенсу кута α похилої площини, при якому дослідний зразок деталі А починає ковзати по похилій площині.

Для проведення експериментів з визначення коефіцієнта тертя зразки виготовлялися у формі прямокутників (рис. 3.26). Зразки кожного з дослідних деталей виготовлялися прямокутної форми і склеювались один з одним, щоб сформувати прямокутник, який можна було б розмістити ребрами деталей на похилій площині установки для визначення коефіцієнта тертя.

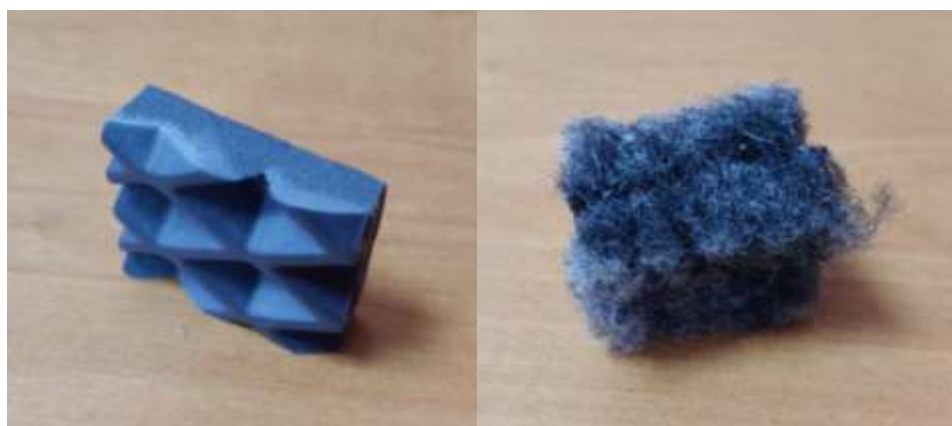


Рис. 3.26. Фото зразків для проведення експериментів з визначення коефіцієнта тертя

В таблиці 3.7 представлено результати визначення коефіцієнтів тертя.

Таблиця 3.7

Результати визначення коефіцієнтів тертя

№	Назва	Коефіцієнт тертя спокою μ_0	Коефіцієнт тертя ковзання μ
1	Хутро штучне	0.49	0.36
2	Хутро натуральне набивне	0.42	0.33
3	Шкіра яловича	0.68	0.51
4	EVA	0.67	0.51
5	Екошкіра	0.65	0.47
6	Оксфорд	0.42	0.31
7	Шкірозамінник	0.38	0.31
8	Монолітна гума з рифленням на одній поверхні	0.65	0.55
9	Мікропориста гума з рисунком на ходовій поверхні	0.6	0.52

3.3. Експериментальне дослідження часу переміщення деталі

3.3.1. Опис експериментальної установки

Для визначення часу переміщення деталі використали експериментальний стенд (рис. 3.1).

Блок вимірювальної апаратури для визначення часу переміщення деталі (рис. 3.27) складається з: пристрою орієнтованої подачі 1, вхідного патрубку 2, пневморозподільника з механічним керуванням 3, трубки Піто 4, датчика тиску 5, оптичного датчика 6, блока обробки сигналів 7 та персонального комп'ютера 8.

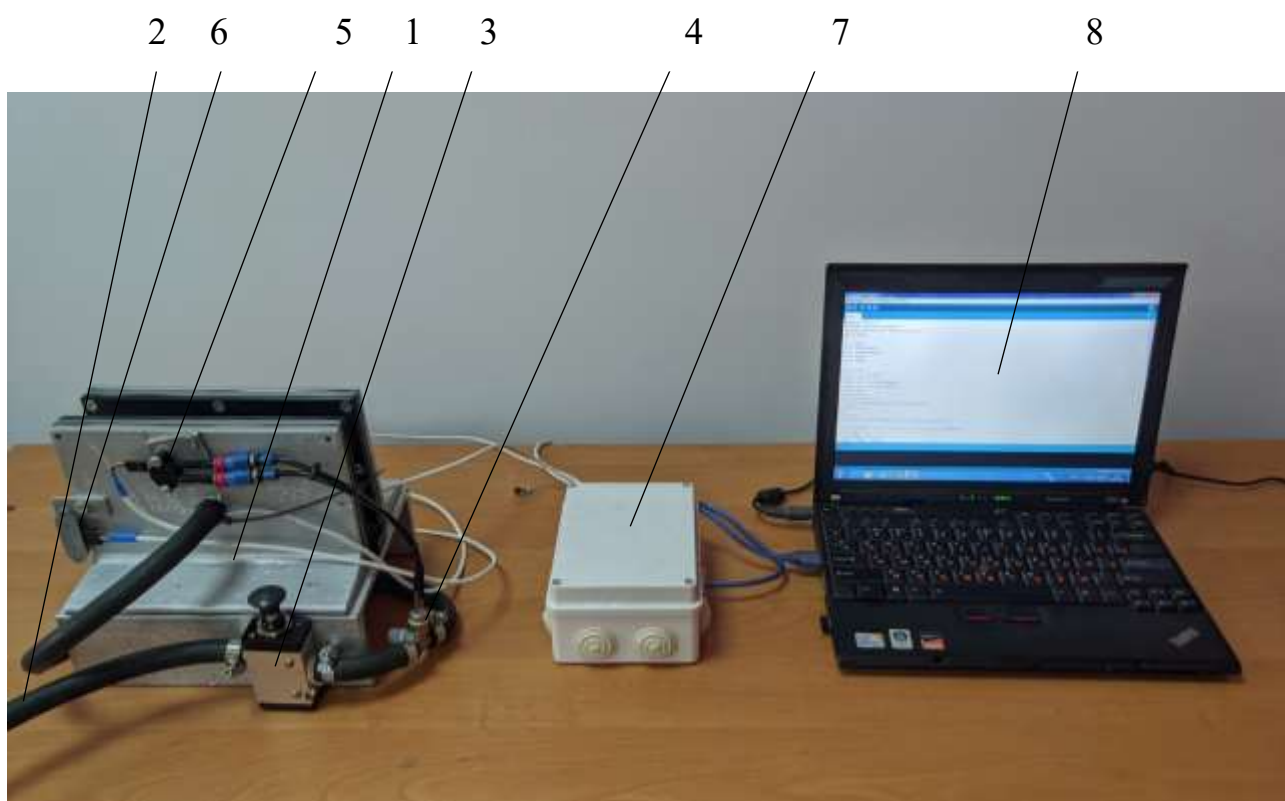


Рис. 3.27. Фото блоку вимірювальної апаратури для визначення часу переміщення деталі

Відмінність блоку вимірювальної апаратури для визначення часу переміщення деталі, полягає у встановленні оптичного датчика FC-03 (рис. 3.28) та відсутності в його конструкції тензодатчика YZC-1B-1 і його підсилювача в блоці обробки сигналів модуля НХ711.



Рис. 3.28. Оптичний датчик FC-03

Схема підключення оптичного датчика FC-03 та його технічні характеристики представлені відповідно в додатку Е, на рис. Е3, таблиця Е2.

Основним критерієм вибору оптичного датчика була точність і швидкість вимірювань та протокол роботи I2C, що дає змогу підключати його на пряму до плати Arduino Uno R3 (рис. 3.8).

Для обробки даних з датчиків було використано те ж саме програмне забезпечення, що й для визначення зусилля переміщення (додаток Д).

Визначення часу переміщення деталі на позиції контролю проводилось за схемою показаною на рис. 3.29.

Схема (рис. 3.29) складається з вхідного патрубку 1, який з'єднаний з вузлом підготовки повітря 2, пневморозподільника з механічним керуванням 3, трубки Піто 4, двох пневматичних камер 5, встановлених на основі 9 паралельно одна одній, що мають патрубки 7 для приєднання до системи подачі стисненого повітря, отворів 8, виконаних під кутом в стінках кожної камери, деталі 10, оптичного датчика 6, БОС, ДТ та ЕОМ.

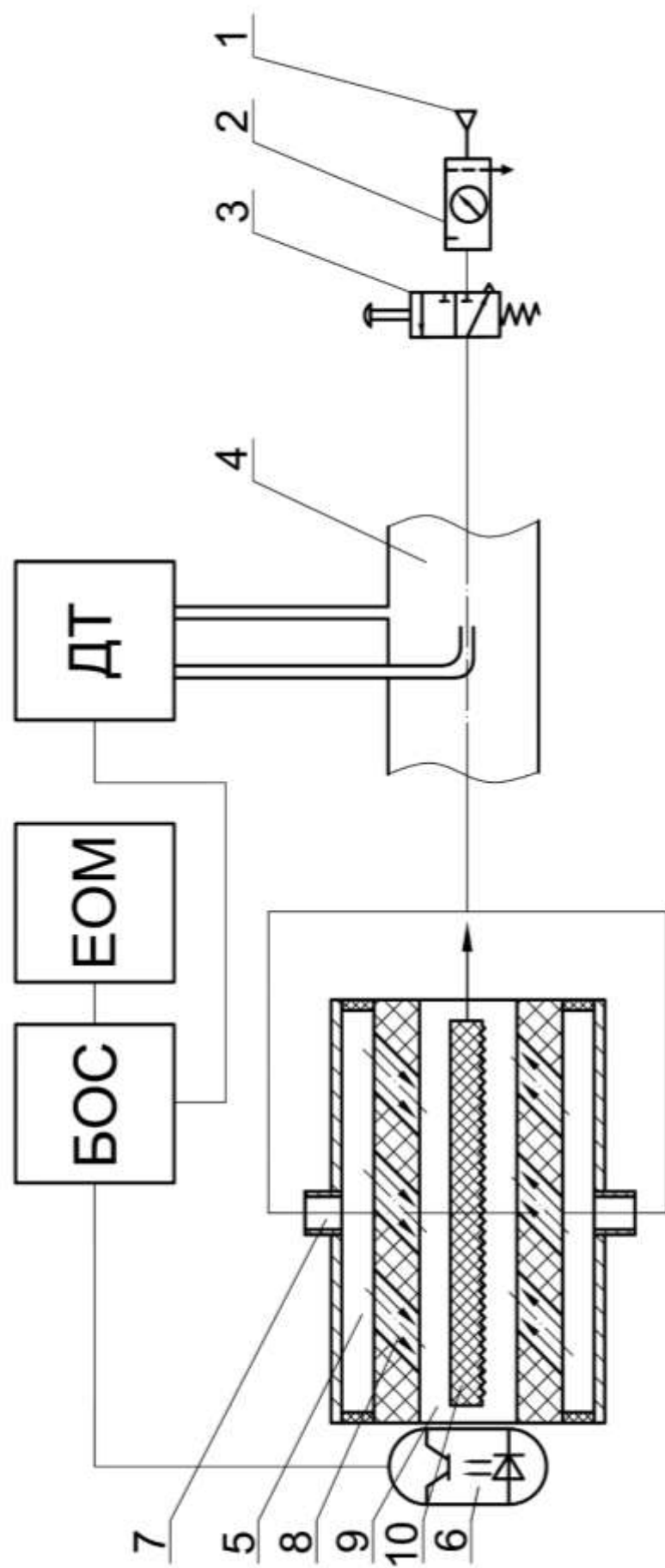


Рис. 3.29. Схема експериментального стенда для визначення часу переміщення деталі

Експериментальний стенд для визначення часу 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. Найбільш шорсткою поверхнею деталь встановлюється до тієї камери, напрям руху повітря із сопел якої направлений в сторону оптичного датчика 6.

Деталь, проходячи через оптичний датчик, створює сигнал на початку і в кінці свого проходження через датчик, по якому ми визначаємо час t переміщення деталі на позиції контролю. Сигнали з оптичного датчика надходять на БОС, який підключений до ЕОМ в якому в режимі реального часу записуються дані з нього. Отже, знаючи часові межі проходження деталі через оптичний датчик та її довжину, можемо вирахувати швидкість переміщення деталі на позиції контролю.

3.3.2. Порядок проведення та обробка даних експерименту

В розділі 3.1 нами були визначені оптимальні параметри кута нахилу сопел α та кількості сопел в кожній камері n_c які забезпечували максимальне зусилля переміщення F . Час переміщення для тестових деталей (рис. 3.30) визначалась при цих оптимальних параметрах.

Результати вимірювань наведені в таблиці 3.8.



Рис. 3.30. Тестові деталі з різних, найпоширеніших взуттєвих матеріалів

Таблиця 3.8

Результати вимірювань часу переміщення деталей

№	Назва	$l, м$	$F, Н$	$t, с$
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

3.4. Визначення коефіцієнта аеродинамічної сили

Коефіцієнт аеродинамічної сили C , що характеризує різницю топографічної характеристики поверхонь деталі визначаємо із умови, що в початковий момент контролю деталь нерухома, сили інерції відсутні. Тому із рівняння сил в процесі контролю (2.8) та умови її рівноваги випливає:

$$CQV \cos \alpha - F_{mp} - F = 0, \quad (3.27)$$

тоді

$$C = \frac{F + F_{mp}}{QV \cos \alpha}. \quad (3.28)$$

Значення величин, що входять в формулу (3.28) були визначені з допомогою експериментального стенда, зображеного на рис. 3.1.

Експериментальні дослідження проводилися для деталей з різних, найпоширеніших взуттєвих матеріалів, що мають відмінність у нерівностях і шорсткості протилежних поверхонь по описаній методиці в розділах 2.2 та 3.1.

Проміжні розрахунки і результати експерименту занесено в таблицю 3.9.

В результаті експериментальних досліджень виявили, що для деталей, занесених в таблицю 3.9 під номерами 8 і 9, в яких мале зусилля переміщення відповідно 0,081 Н та 0,05 Н спостерігалось не стабільне їх переміщення на позиції контролю. Тобто не всі деталі переміщувались, деякі зупинялись в процесі проведення експериментальних досліджень. Надійність контролю низька, тому даний спосіб контролю для деталей з цих матеріалів не рекомендується.

Знаючи значення коефіцієнтів C матеріалів деталей взуття (або близьких до них по характеристиках поверхонь), можна знайти необхідні параметри пристроїв для контролю, а також необхідний тиск повітря для створення зусилля, достатнього для переміщення цих деталей з позиції контролю із заданою швидкістю, тобто для створення умов контролю.

Таблиця 3.9

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 камері $Q_1, кг/с$	Середній секундний масовий розхід через 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	0,68	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							0,071	0,65	0,081	0,85
9 Мікропориста гума з рисунком на ходовій поверхні, 321650							0,055	0,6	0,05	0,63

3.5. Порівняння аналітичного і експериментального значень зусилля та часу переміщення деталі з позиції контролю

Наступним етапом роботи було порівняння аналітично розрахованих (згідно рівнянь (2.19, 2.24)) та розрахованих за допомогою рівняння регресії (3.19) значень зусилля переміщення деталі F на позиції контролю деталі з матеріалу EVA.

Визначимо зміну зусилля переміщення деталі F на позиції контролю окремо для двох випадків:

1. Зусилля переміщення деталі F на позиції контролю в залежності від зміни у встановлених межах варіювання кута нахилу сопел α , при цьому,

кількості сопел у кожній камері n_c приймалась незмінною та відповідала верхньому рівню варіювання фактору ($n_c=19$ шт).

2. Зусилля переміщення деталі F на позиції контролю в залежності від зміни у встановлених межах варіювання кількості сопел у кожній камері n_c , при цьому, кут нахилу сопел α був незмінний та відповідав нульовому рівню варіювання фактору ($\alpha=45^\circ$).

Розрахунок зусилля переміщення деталі F на позиції контролю за виведеними у розділі 3 рівняннями (2.19, 2.24) з урахуванням таблиці 3.9 та згідно рівняння регресії (3.19) з урахуванням рівнів варіювання двох факторів представлено в додатку Є.

Графічні залежності зміни зусилля переміщення деталі F на позиції контролю від кута нахилу сопел α та їх кількості n_c представлені на рисунках 3.31, 3.32.

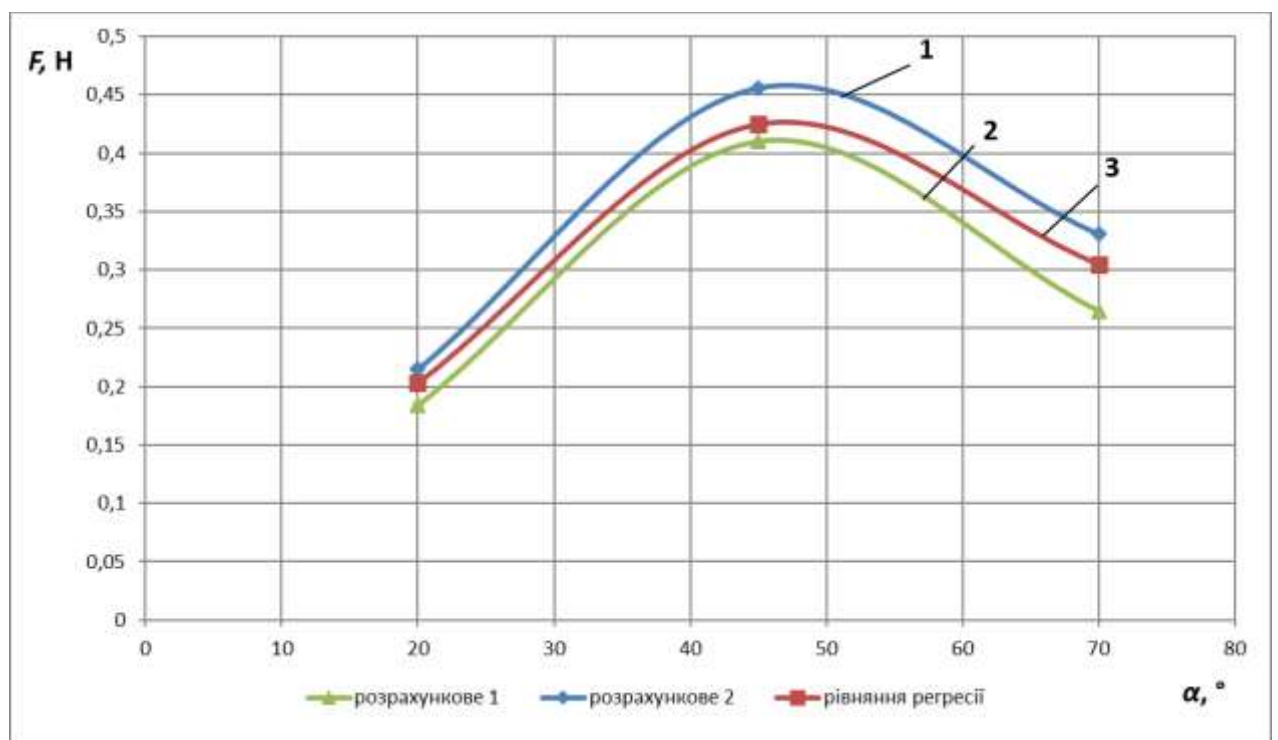


Рис. 3.31. Графічні залежності зусилля переміщення деталі F з матеріалу EVA від кута нахилу сопел $\alpha=(20^\circ\sim 70^\circ)$ при кількостях сопел $n_c=11$:
1 – розрахункове (2.19); 2 – розрахункове (2.24); 3 – рівняння регресії (3.19)

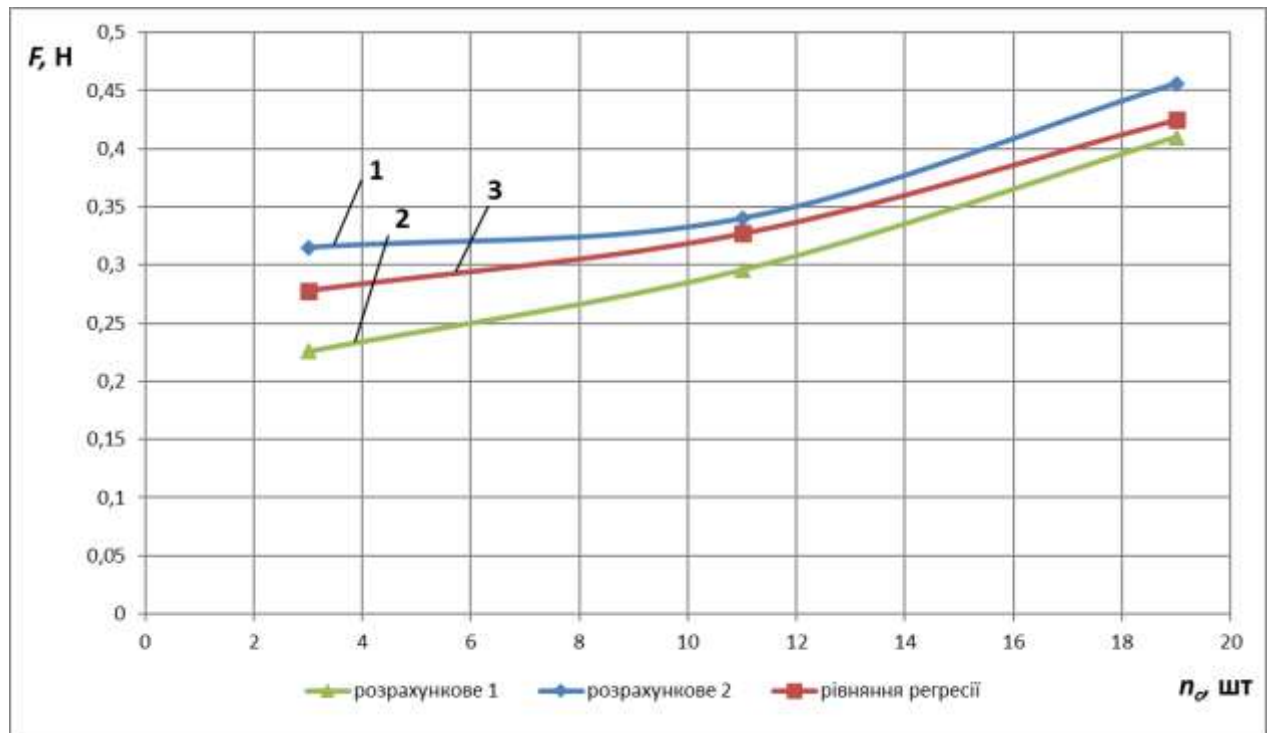


Рис. 3.32. Графічні залежності зусилля переміщення деталі F з матеріалу EVA від кута нахилу сопел $\alpha=45^\circ$ при кількостях сопел $n_c=(3;11;19)$:
 1 – розрахункове (2.19); 2 – розрахункове (2.24); 3 – рівняння регресії (3.19)

Проаналізувавши результати розрахунків за виведеними у 2 розділі рівняннями (2.19, 2.24) та рівнянням регресії (3.19), встановлено, що середня розбіжність між розрахунковими рівняннями та експериментально встановленим значенням зусилля переміщення деталі на позиції контролю становить: 7,24% (рівняння (2.19)) і 9,7% (рівняння (2.24)) у випадку, якщо варіювати зміною кута нахилу сопел при незмінній кількості сопел у кожній камері та 8,19% (рівняння (2.19)) і 12,4% (рівняння (2.24)), якщо змінювати кількість сопел у кожній камері, при незмінному куті нахилу сопел.

Розрахунок часу переміщення деталі t з позиції контролю за виведеними у розділі 3 рівняннями (2.18) з урахуванням таблиці 3.9 наведено в додатку Є.

Результати розрахункових (t) і експериментальних (t_e) значень часу та розбіжності між ними представлені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Результати розрахункових і експериментальних значень часу

№	Назва	$l, м$	$t, с$	$t_e, с$	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

Висновки до 3-го розділу

1. Розроблено програмне забезпечення на мові С для реєстрації та обробки даних з датчиків експериментальної установки, що реалізує процедуру зчитування та запису в пам'ять ЕОМ в режимі реального часу з подальшою їх обробкою в програмному середовищі MS Excel та Mathcad.

2. В результаті проведення експериментальних досліджень підтверджено правомірність гіпотези обтікання струменями повітря поверхонь плоских деталей і прийнятих при цьому допущень на більшій частині досліджуваного факторного простору.

3. Розбіжність між розрахунковим та експериментально встановленим значенням зусилля, що становить не більше 12,4%, пояснюється тим, що при визначенні зусилля переміщення деталі на позиції контролю аналітичним способом виконано ряд допущень по геометричній формі нерівностей, способу обтікання повітрям деталі, кількості нерівностей деталі на які діють струмені повітря, рівність сил тертя повітря з обох сторін деталі та середню швидкість виходу повітря із сопел.

4. Отримані рівняння регресії можуть бути використані для розрахунку параметрів контролюючих пристроїв і часу їх спрацьовування.

5. Експериментально встановлено параметри пневматичних камер – кут нахилу сопел α та кількість сопел в кожній камері n_c для максимального зусилля переміщення.

6. Величина часу контролю положення знаходиться в межах часу виконання технологічних операцій на високопродуктивному обладнанні взуттєвого виробництва – машинах прохідного типу.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Практичне застосування результатів дослідження знайшли у розробці модуля орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення, при розробці якого використано результати досліджень, проведених у дисертаційній роботі, у тому числі й патент на корисну модель [125] та встановлення його в автоматичну лінію для обробки таких деталей.

Застосування модуля орієнтації пропонується в двох варіантах:

- 1) в автоматичній лінії для обробки мікропористих підошов з матеріалу EVA;
- 2) в автоматичній лінії для обробки плоских деталей низу взуття (підошов, основних устілок) із натуральної шкіри.

4.1. Розробка блок-схеми автоматизованої лінії для обробки низу взуття

1. Технологічний процес обробки мікропористих підошов з матеріалу EVA складається з наступних технологічних операцій: розкрій матеріалів на пресах або автоматичний, шліфування неходової сторони підошви, нанесення клею на шліфовану поверхню, сушка клейової плівки. Саме після операції розкрою необхідно правильно зорієнтувати деталь перед завантаженням її в обладнання для шліфування.

Пропонуємо наступну комплектацію автоматичної лінії для обробки підошов з матеріалу EVA, блок-схема якої показана на рис. 4.1.

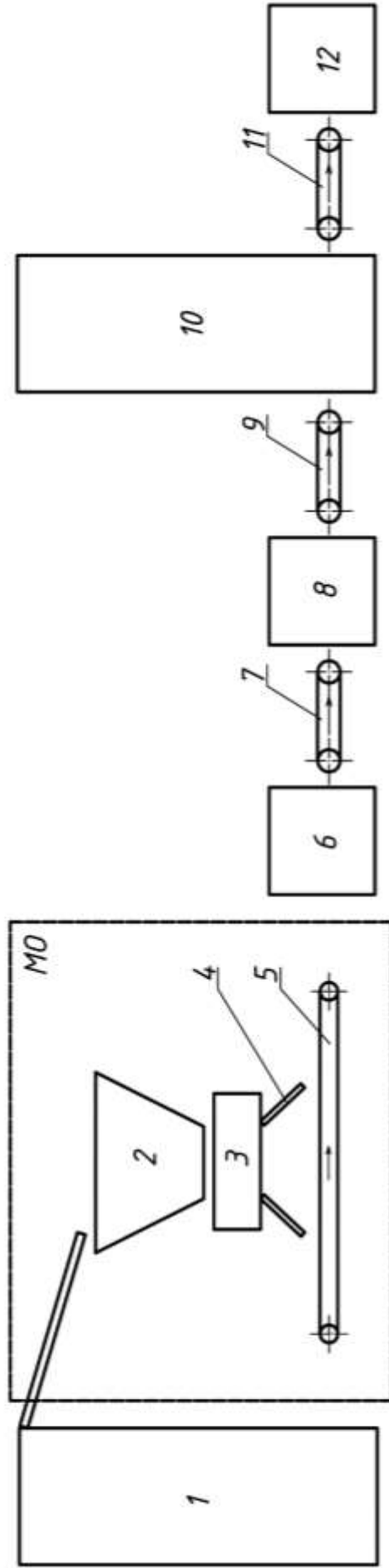


Рис. 4.1. Блок-схема автоматизованої лінії для обробки деталей низу взуття

Блок-схема (рис. 4.1) складається з: 1 – гідравлічного пресу Atom S/SE (додаток Ж, рис. Ж1) або лазерної машини NGS LZ1610-2 (додаток Ж, рис. Ж2); модуля орієнтації (МО), 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 – напівавтомату для шліфування плоских деталей взуття 04163/P3; 7, 9, 11 – стрічкового транспортера (додаток Ж, рис. Ж3); 8 – машини для нанесення клею на плоскі деталі NGS TW-AL-NS/30 (додаток Ж, рис. Ж4); 10 – тунель для швидкої сушки Cosmopol ELVI UPRC/S (додаток Ж, рис. Ж5); 12 – стіл для комплектації деталей.

На блок-схемі (рис. 4.1) деталі після розкрою 1 потрапляють у модуль орієнтації, який складається з вібробункера 2, з якого вони поштучно подаються до пристрою для контролю положення за властивостями поверхонь 3. Після контролю положення деталі по орієнтуючим лоткам 4 падають на стрічковий транспортер 5 в орієнтованому положенні (неходовою стороною вгору). Далі деталі потрапляють на шліфувальний напівавтомат 6, потім по стрічковому транспортеру 7 на машину для нанесення клею 8.

Після нанесення клею на неходові поверхні, деталі по транспортеру 9 потрапляють в тунель для швидкої сушки та активації клею 10, пройшовши в якому процес сушіння, вивантажуються за допомогою транспортера 11 на комплектацію деталей 12.

2. Технологічний процес обробки плоских деталей низу взуття із натуральної шкіри (підшви, основні устілки та ін.) складається з наступних технологічних операцій: розкрій шкір, вирівнювання по товщині, нанесення клею на неходову поверхню, сушки клейової плівки. Орієнтація деталі в даному випадку необхідна перед завантаженням її в обладнання для вирівнювання по товщині.

Розроблена блок-схема (рис. 4.1) для автоматичної лінії для обробки підшов з матеріалу EVA підходить і для обробки плоских деталей низу взуття

із натуральної шкіри, відрізняється тільки комплектацією елементом під номером 6, а саме двоїльною машина NGS ZH2-420 (додаток Ж, рис. Ж6).

Таким чином, після відповідного компоновання обладнання один робочий обслуговує вузол розкрою, а інший займається комплектуванням деталей на позиції 12. В результаті цього звільняється один робітник, який раніше працював на ділянці орієнтування плоских деталей та завантаження в шліфувальний напівавтомат (варіант 1), або в двоїльну машину (варіант 2) .

4.2. Розробка конструкції модуля орієнтації плоских деталей низу взуття

Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття, який представлено на рис. 4.2, містить вібробункер 1, розміщений на ньому вібромотор 2, пристрій контролю положення плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь 3, стрічковий транспортер 4, його привід 5 та пристрій центрування плоских деталей взуття 6.

На рис. 4.3 показано вид спереду та позначено перерізи модуля орієнтації плоских деталей низу взуття.

На перерізі А (рис. 4.4) модуля орієнтації плоских деталей низу взуття показано пневмокамери 7, 8, та болти 9, з допомогою яких регулюють віддаль між камерами H (формула (3.2)), лотки 10, 11, по яким спадають деталі на стрічковий транспортер, болти 12, з допомогою яких регулюють віддаль $l1$.

$$l1 = 1.2..1.4 \cdot b, \quad (4.1)$$

де b – ширина деталі.

На перерізі В (рис. 4.5) модуля орієнтації плоских деталей низу взуття показано оптичний датчик 21, регульовальні пластини ширини вихідного отвору вібробункера 13, з допомогою яких регулюють віддаль $l2$ та фіксуючі болти пластин 14.

$$l2 = 1.4..1.7 \cdot \delta \quad (4.2)$$

Також на рис. 4.5 показано переріз пристрою контролю положення плоских деталей низу взуття, який складається з вхідного штуцера 15, корпусу камери 16, рамки камери 17, пластин з соплами 18 та прокладками 19, 20.

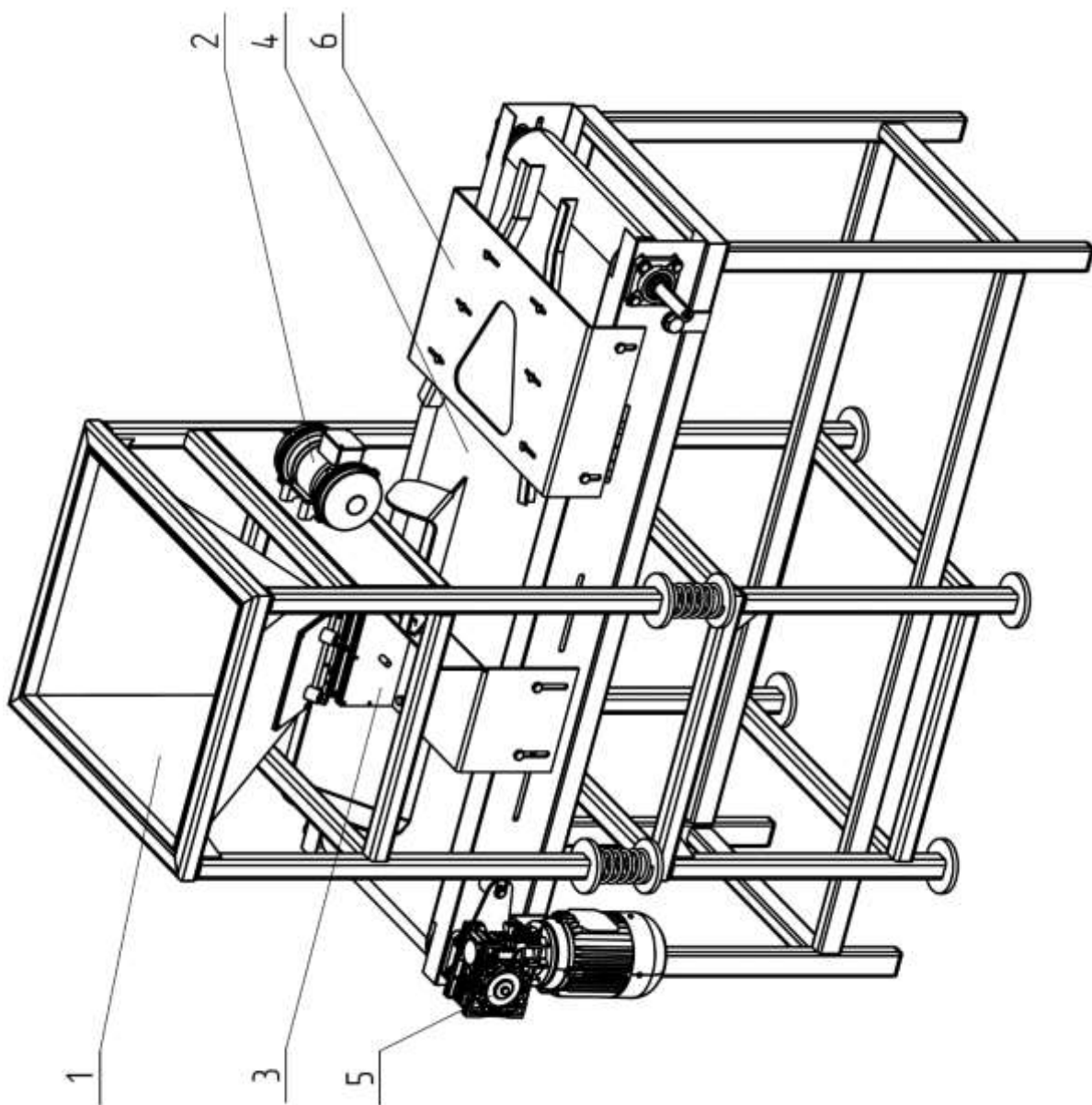


Рис. 4.2. Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття

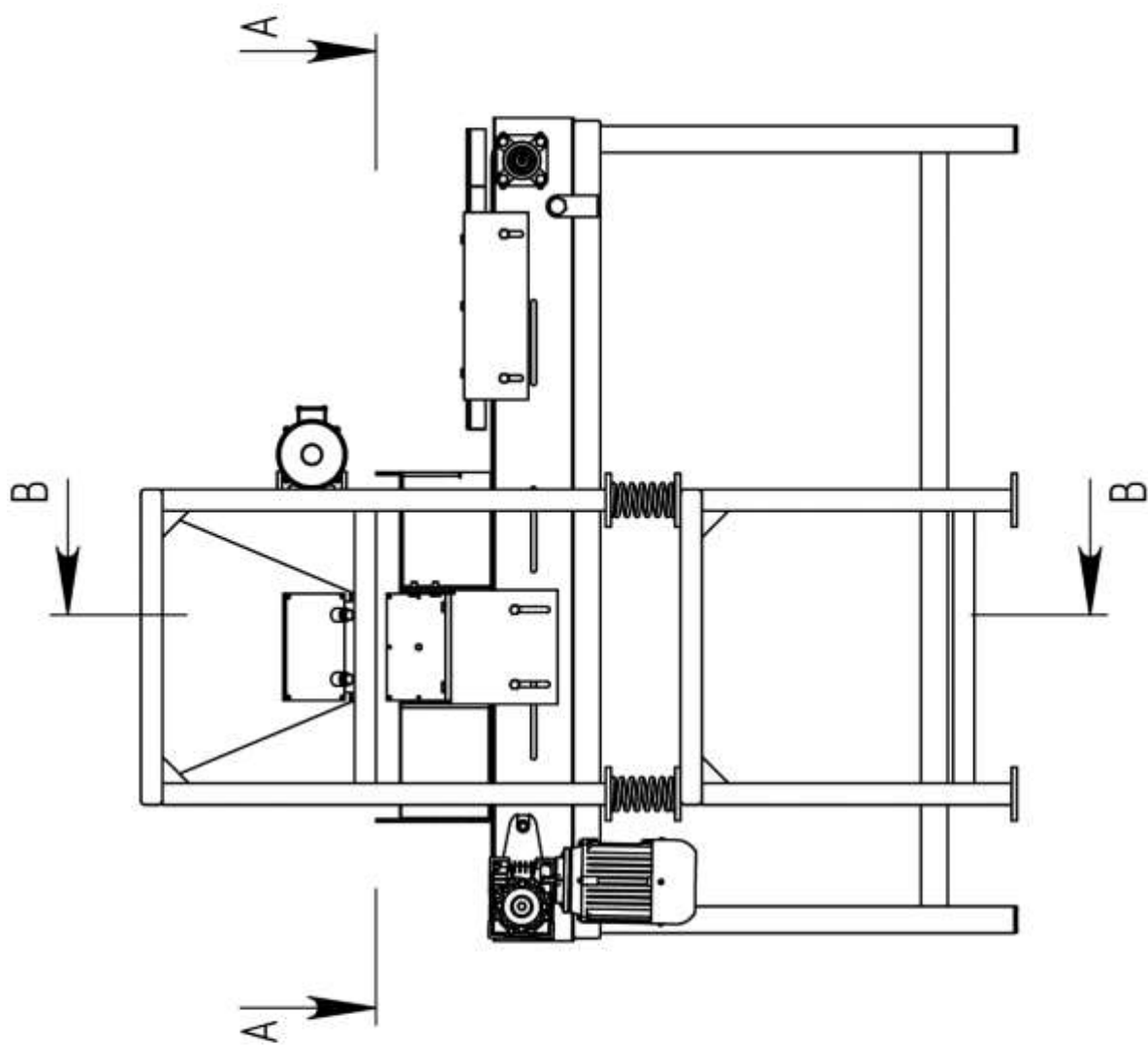


Рис. 4.3. Модуль орієнтації плоскості деталей низу взуття (вид спереду)

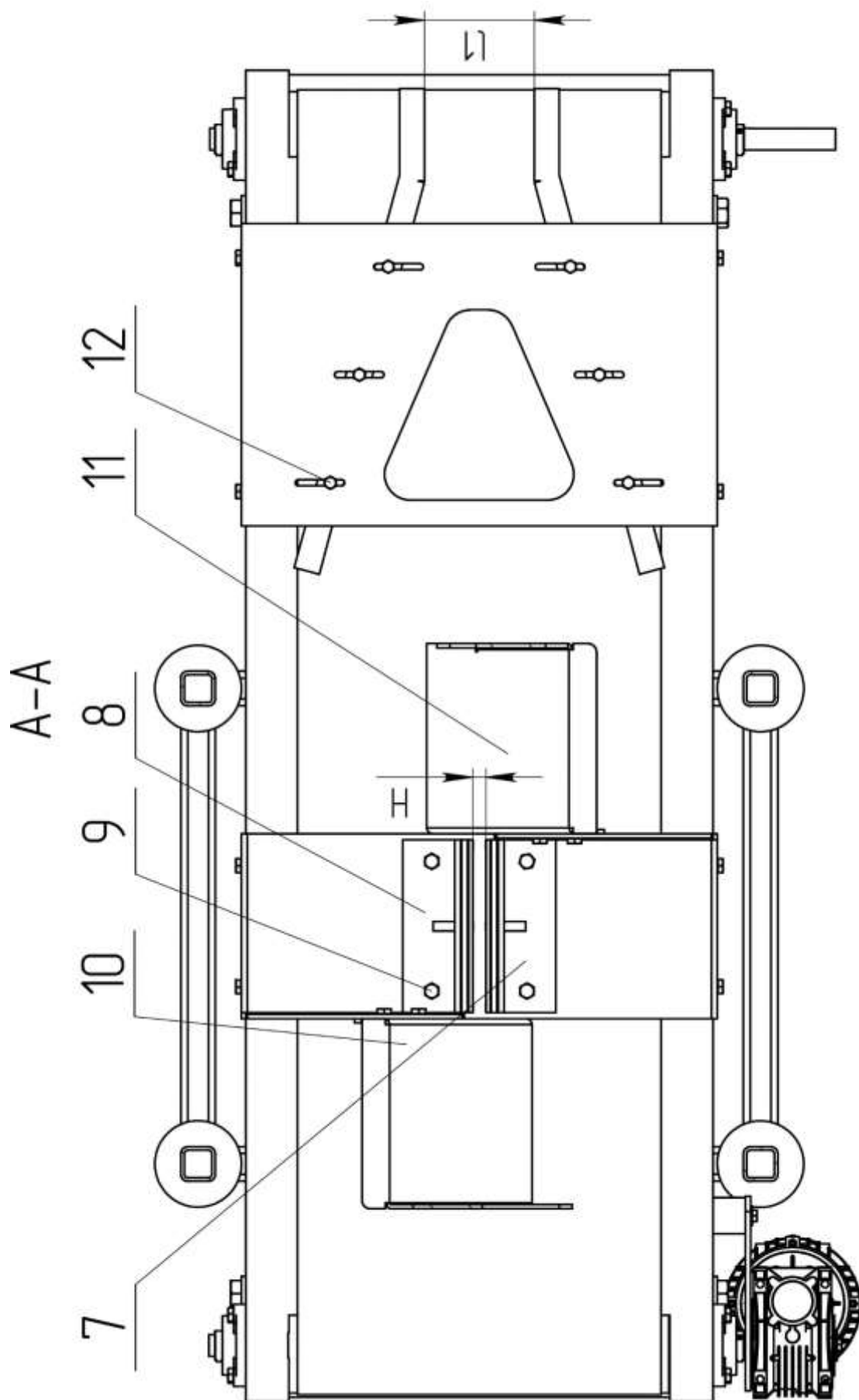


Рис. 4.4. Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття (вид зверху)

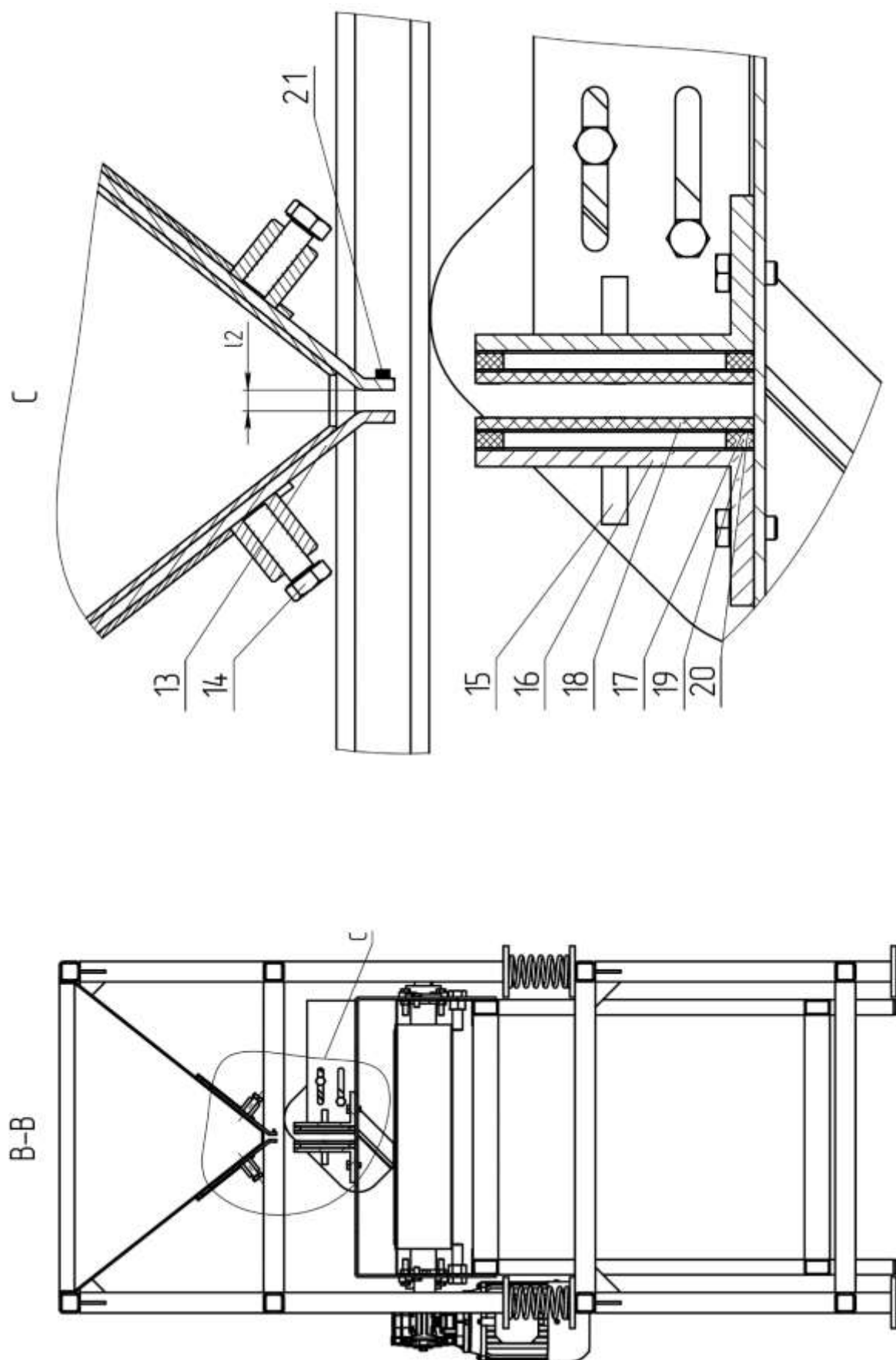


Рис. 4.5. Модуль орієнтації плоских деталей низу взуття (вид збоку)

Працює модуль орієнтації плоских деталей низу взуття (рис. 4.2-4.5) наступним чином: деталь з вібробункера 1, подається через регулювальні пластини 13, проходячи через оптичний датчик 21, створює сигнал для подачі стисненого повітря і попадає між вдома камерами 7,8. Стиснене повітря через патрубки 15 подається в камери і виходить через отвори пластин з соплами 18, діючи на поверхню деталі, виштовхують деталь на лоток 10 чи 11 залежно від її шорсткості, по яких вона сповзає на стрічку транспортера 4. Рухаючись по стрічці транспортера деталь відцентровується завдяки пристрою центрування плоских деталей взуття 6 і подається на позицію обробки.

Висновки до 4-го розділу

1. Розроблено блок-схему автоматизованої лінії для обробки низу взуття з модулем орієнтації плоских деталей в двох варіантах для різних технологічних процесів.

2. Розроблено конструкцію модуля орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь оснащеного пристроєм для контролю їх положення на основі власного патенту на корисну модель №156054, з використанням системи автоматизованого проектування SolidWorks 2022 .

3. Розроблений модуль орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь може застосовуватись в різних комплектаціях з технологічним обладнанням.

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 α , при якому буде максимальне зусилля переміщення деталі на позиції контролю F , є кут в межах $\alpha=(45\div 48^\circ)$.

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 сек, 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навч. посіб. / Проць Я.І. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232 с.
2. Семеніхіна Л. Ф. Контроль положення деталей за властивостями поверхонь: дис. ... канд. техн. наук. – К., 1972. – 208 с.
3. Leather. Physical and mechanical tests. Determination 197 of tensile strength and percentage extension (ISO 3376:2011). [Publication date 2011-12]. Technical Committee: IULTCS International Union of Leather Technologists and Chemists Societies. 2011. – P. 5.
4. Hamilton D. K., Wilson T. Scanning optical microscopy by objective lens. Scanning, Journal of Physics E: Scientific Instruments. 1986. – No 19. – P. 52–54.
5. Hägele, M.; Nilsson, K.; Pires, J.N.; Bischoff, R. Industrial robotics, in: Siciliano, B. et al. Springer handbook of robotics. 2016. – P. 1385-1422.
6. Ковальов Ю.А. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: навч. Посіб. / Ковальов Ю.А., Кошель С.О., Манойленко О.П.. – К.: ЦУЛ, 2021. – 256 с.
7. Поліщук М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання: навч. посіб. / М. М. Поліщук, М.М. Ткач. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.
8. Ніколайчук В.М. Основи робототехніки: навч. посіб. – Рівне: НУВГП, 2008. – 76 с.
9. Polishchuk, M. Anthropomorphic gripping device for an industrial robot: design and calculation of parameters. SN Appl. Sci.. – 2019. – P. 1–9.
10. Робототехніка. Підручник / [В. І. Костюк, Г. О. Спишу, Л. С. Ямпольський, М. М. Ткач.] – К.: Вища школа, 1994. – 447 с.
11. S. Kock, T. Vitor, M. Björn, H. Jerregard, M. Källmann, I. Lundberg: Robot concept for scalable, flexible assembly automation, Proc. IEEE Int. Symp. Assem. Manuf. (ISAM), Tampere, 2011. – P. 891–905.

12. S. Bogh, M. Hvilshoj, M. Kristiansen, O. Madsen: Identifying and evaluating suitable tasks for autonomous industrial mobile manipulators (AIMM), *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2012. – 61(5-8). P. 713–726.

13. Hedelind, Mikael, and Sönke Kock. "Requirements on flexible robot systems for small parts assembly: A case study." 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM). IEEE, 2011. – P. 234–251.

14. Paulius, A survey of knowledge representation in service robotics, *Robot. Auton. Syst.*, 2019. – № 118. – P. 1-22.

15. M. Tenorth, D. Nyga, M. Beetz, Understanding and executing instructions for everyday manipulation tasks from the World Wide Web, in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. – P. 1486–1491.

16. S. Nair, A. Rajeswaran, V. Kumar, C. Finn, A. Gupta, R3M: A universal visual representation for robot manipulation, in: Conference on Robot Learning, 2022. – P. 892-909.

17. Coradeschi, A short review of symbol grounding in robotic and intelligent systems, *KI-Künstliche Intell.*, 2008. – № 27. – P. 41–48.

18. A. Jain, B. Wojcik, T. Joachims, A. Saxena, Learning trajectory preferences for manipulators via iterative improvement, in: Advances in Neural Information Processing Systems, 2013. – P. 575–583.

19. Lim, Ontology-based unified robot knowledge for service robots in indoor environments, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 2010. – № 41. – P. 492–502.

20. Tamas Haidegger et al. Applied ontologies and standards for service robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 2013. – №61. – P. 1215–1223.

21. Ludwig Jacobsson. A module-based skill ontology for industrial robots. Master's thesis, Department of Computer Science, Faculty of Engineering LTH, Lund University, 2015. – P. 59.

22. A. Nilsson, R.o Muradore, K. Nilsson, and P. Fiorini. Ontology for robotics: a roadmap. In Proceedings of Int. Conf. Advanced Robotics (ICAR09), Munich, Germany, 2009. – P. 291-296.

23. Robotics for the Benefit of Footwear Industry. Proceedings of the 5th international conference on Intelligent Robotics and Applications - Volume Part II, 2012. – P. 235-244.

24. Maj Stenmark and Jacek Malec. Knowledgebased instruction of manipulation tasks for industrial robotics. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2014. – P. 8.

25. M. Tenorth and M. Beetz. Knowrob – a knowledge processing infrastructure for cognitionenabled robots. part 1: The knowrob system. International Journal of Robotics Research, 2013. – 32(5). – P. 566–590.

26. D. Turpin, L. Wang, S. Tsogkas, S. Dickinson, A. Garg, Gift: Generalizable interaction-aware functional tool affordances without labels, in: Robotics: Science and Systems, 2021. – P. 25.

27. Maurtua I., Ibarguren A., Tellaeché A. Robotic solutions for footwear industry. In: In Proc. of IEEE 17th int. conf. on emerging technologies and factory automation (ETFA), Krakow, – 2012. – P. 1–4.

28. W. Liu, D. Bansal, A. Daruna, S. Chernova, Learning Instance-Level N-Ary Semantic Knowledge At Scale For Robots Operating in Everyday Environments, in: Proceedings of Robotics: Science and Systems, Virtual, 2021. – P. 529 – 547.

29. Tenorth, KnowRob: A knowledge processing infrastructure for cognition-enabled robots, Int. J. Robot. Res., 2013. – № 32. – P. 566.

30. Thosar, From multi-modal property dataset to robot-centric conceptual knowledge about household objects, Front. Robot. AI, 2021. – № 8. – P. 87.

31. Fang, Learning task-oriented grasping for tool manipulation from simulated self-supervision, Int. J. Robot. Res., 2018. – № 39. – P. 202.

32. Choset, Topological simultaneous localization and mapping (SLAM): Toward exact localization without explicit localization, IEEE Trans. Robot. Autom., 2001. – № 17. – P. 125.

33. Garrett, Integrated task and motion planning, Annu. Rev. Control Robot. Autonom. Syst., 2020. – № 4. – P. 265.

34. Krüger, Object–action complexes: Grounded abstractions of sensory–motor processes, *Robot. Auton. Syst.*, 2011. – № 59. – P. 740.

35. C. Paxton, Y. Bisk, J. Thomason, A. Byravan, D. Foxl, Prospection: Interpretable plans from language by predicting the future, in: 2019 International Conference on Robotics and Automation, ICRA, 2019. – P. 6942–6948.

36. S. Chernova, V. Chu, A. Daruna, H. Garrison, M. Hahn, P. Khante, W. Liu, A. Thomaz, Situated Bayesian Reasoning Framework for Robots Operating in Diverse Everyday Environments, in: International Symposium on Robotics Research, ISRR, 2017. – P. 529–547.

37. Sebastian Thrun, Tom M. Mitchell, Lifelong robot learning, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 15, Issues 1–2, 1995. – P. 25–46.

38. Nasir, Muhammad, Marwati Marwati, and Muh Ajwad Musdar. "Gedung Robotika dengan Pendekatan Ekspos Struktur di Makassar." *TIMPALAJA : Architecture student Journals* 3, no. 1, 2021. P. 37–45.

39. Norkina, N. V., and F. A. Mevis. "Determination of the positioning accuracy of industrial manipulators using a digital photo/video camera." *Open Education* 23, no. 3, 2019. – P. 42–48.

40. Chen, B.; Wan, J.; Shu, L.; Li, P.; Mukherjee, M.; Yin, B. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case and Challenges. *IEEE Access*, 2018. – №6. P. 6505–6519.

41. Kim M-G, Kim J, Chung SY, Jin M, Hwang MJ. Robot-Based Automation for Upper and Sole Manufacturing in Shoe Production. *Machines*. – 2022. – №10(4). – P. 255.

42. Ding, Y.; Zhao, J.; Goonetilleke, R.S.; Xiong, S.; Yuan, Z.; Zhang, Y.; Long, C. An Automatic Method of Measuring Foot Girths for Custom Footwear Using Local RBF Implicit Surfaces. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 2010. – 23. – P. 574–583.

43. Molinari-Tosatti, L.; Fassi, I. Parallel Kinematic Machines for An Application in Shoes Manufacturing: The Conceptual Design to The First

Experimental Campaign. In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Maui, HI, USA, 2001. – P. 433–438.

44. Hu, Z.; Marshall, C.; Bicker, R.; Taylor, P. Automatic Surface Roughing with 3D Machine Vision and Cooperative Robot Control. *Robot. Auton. Syst.* 2007. – 55. – P. 552–560.

45. Nemeč, B.; Leon, Z. Shoe Grinding Cell using Virtual Mechanism Approach. In Proceedings of the 5th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO-RA), Madeira, Portugal, 2008. – P. 159–164.

46. Pedrocchi, N.; Villagrossi, E.; Cenati, C.; Tosatti, L.M. Design of Fuzzy Logic Controller of Industrial Robot for Roughing the Uppers of Fashion Shoes. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2015. – 77. – P. 939–953.

47. Gracia, L.; Perez-Vidal, C.; Mronga, D.; de Paco, J.M.; Azorin, J.M.; de Gea, J. Robotic Manipulation for The Shoe-Packaging Process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017, 92, 1053–1067.

48. Perez-Vidal, C.; Gracia, L.; de Paco, J.M.; de Gea, J. Automation of Product Packaging for Industrial Applications. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 2017, 31, 129–137.

49. Carnevale, M.; Castelli, K.; Zaki, A.M.A.; Giberti, H.; Reina, C. Automation of Glue Deposition on Shoe Uppers by Means of Industrial Robots and Force Control. *Mech. Mach. Sci.* 2021. – 91. P. 344–352.

50. Kim, J.Y. CAD-Based Automated Robot Programming in Adhesive Spray Systems for Shoe Outsoles and Uppers. *J. Robot. Syst.* – 2004. – 21. – P. 625–634.

51. Oliver, G.; Gil, P.; Gomez, J.F.; Torres, F. Towards Footwear Manufacturing 4.0: Shoe Sole Robotic Grasping in Assembling Operations. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2021. – 114. – P. 811–827.

52. Oliver, G.; Gil, P.; Torres, F. Robotic Workcell for Sole Grasping in Footwear Manufacturing. In Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Vienna, Austria. – 2020. – P. 704–710.

53. Kim, M.G.; Kim, J.; Shin, D.; Jin, M. Robot-based Shoe Manufacturing System. In Proceedings of the 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), YongPyong, Korea. – 2018. – P. 1491.

54. Mai, C.C.; Huang, C.K.; HoCheng, H. Three-Dimensional Trajectory Recognition Technology for the Junction Trace of a Material Assembly Used in footwear manufacturing Automation. In Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Robotics (ICAR), Ljubljana, Slovenia. – 2021. – P. 38–43.

55. Ronthaler, M., de Gea Fernandez, J., Vogele, T., Automation in the Footwear Industry - Innovative Robotics to Support Complex Artisan Production, *Industrie Management*, no.1. – 2011. – P. 59–61.

56. Nemeč B., Žlajpah L., Automation in shoe assembly, Proceedings of the 15th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD 2006), Balatonfüred, Hungary. – 2006. – P. 131–136.

57. Nemeč, B., Zlajpah, L., Shoe grinding cell using virtual mechanism approach, Proceedings of the 5th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2008), Ed. by Inst. for Syst. and Technol. of Inf. Control and Commun., Setubal, Portugal. – 2008. – P. 159–164.

58. Hu, Z., Marshall, C., Bicker, R., Taylor, P., Automatic surface roughing with 3D machine vision and cooperative robot control, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 55, no. 7. – 2007. – P. 552–560.

59. Rooks, B.W., Robots bring automation to shoe production, *Assembly Automation*, vol. 16, no. 3. – 1996. – P. 22–25.

60. Kochan, A., Actis and the shoe industry, *Assembly Automation*, vol. 16, no. 3. – 1996. – P. 30–31.

61. Lho Tae-Jung, Park Pil-Gyu, Suh Jong-Chul, Park Dong-Joo, Ahn Hee-Tae, A study on development of 3D outsole profile scanner for footwear bonding automation, Proceedings of the 2001 International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2002), Ed. by Inst. Control, Autom. & Syst. Eng., Taejon, South Korea. – 2001. P. 2857–2860.

62. Choi, Hyeung-Sik, Hwang, Gyu-Deuk, You, Sam-Sang, Development of a new buffing robot manipulator for shoes, *Robotica*, vol. 26, no. 1. – 2008. – P. 55–62.

63. Alcantud, J.A.L., Carbonell, A.A., Asensi, G.D., Balibrea, L.-M.T., Inspection and quality control based on artificial vision techniques for the automation of manufacturing process in the footwear industry, *Proceedings of the Second Asian Conference on Computer Vision (ACCV '95)*, Ed. by Nanyang Technol. Univ, Singapore, vol. 3. – 1995. P. 685–689.

64. Dulio, S., Boër, C., Integrated production plant (IPP): an innovative laboratory for research projects in the footwear field, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 17, no. 7. – 2004. – P. 601–611.

65. Nemes, Bojan & Lenart, B. & Zlajpah, Leon. Automation of lasting operation in shoe production industry. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*. – 2004. – P. 462–465.

66. Пундик С.І. Проектування засобів організації середовища для промислових роботів / С.І. Пундик, А.К. Кармаліта // 9-та Міжнародна наукова конференція "ІХ Україно-Польські наукові діалоги" 20-23 жовтня 2021 року. Тези доповідей - С. 143–145.

67. 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.

68. Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика / Коновал В. П., Гаркавенко С. С., Свістунова Л. Т. – К.: Лібра, 2010. – 720 с.

69. Коновал В. П. Технологія взуттєвого виробництва: підручник для учнів професійно-техн. навчальних закладів / Коновал В. П., Свістунова Л. Т., Олійникова В. В. – К.: Либідь, 2003. – 368 с.

70. А. с. СРСР 699582, МПК H01G 13/00. Устройство для сортировки заготовок радиодеталей / А. Д. Астахов, И. Н. Гольцов, Г. С. Рычков, Э. А. Жилин (СССР). - № 2341555/18-21; заявл. 05.04.76; опубл. 25.11.79, Бюл. №43.

71. А. с. СРСР 999188, МПК H05K 13/02. Устройство для ориентации деталей, преимущественно плоских с параллельными прямоугольными

выступлениями на одной из плоскостей / В. Н. Лузай (СССР). - № 3336668/18-21; заявл. 09.09.81; опубл. 23.02.83, Бюл. №7.

72. А. с. СРСР 389998, МПК В65G 47/24. Устройство для ориентации плоских изделий / В. Л. Кокотов, В. Г. Летуновский (СССР). - № 1642860/29-33; заявл. 19.04.71; опубл. 11.07.73, Бюл. №30.

73. А. с. СРСР 1048527, МПК Н01G 13/00. Устройство для ориентированной подачи деталей / П. А. Шеликов, Н. П. Баловнев (СССР). - № 3442681/18-21; заявл. 24.05.82; опубл. 15.10.83, Бюл. № 28.

74. Кармаліта А. К. Методика математичного моделювання технології та механізмів легкої промисловості / А. К. Кармаліта, Г. А. Піскорський, М. Є. Скиба. – К.: ІЗМН, 1997. – 184 с.

75. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Сусліков Л. М., Студеняк І. П. – Ужгород: УжНУ, 2016. – 192 с.

76. 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.

77. Sharifi, H., Colquhoun, G., Barclay, I., Dann, Z., Agile Manufacturing: A Management and Operational Framework, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 215-B. – 2001. – P. 857–869.

78. Dashchenko, A., Manufacturing Technologies for Machines of the Future - 21st Century Technologies, Springer. – 2003. – P. 566–567.

79. 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.

80. А. с. СССР 1063378, МПК А43D 111/00. Способ подачи деталей обуви с различной шероховатостью поверхности на технологическую обработку /

Пискорский Г.А., Кармалита А.К., Киевский технологический институт легкой промышленности - №3411334/28-12, заяв. 1982.03.18; опуб. 1983.12.30, бюл. №48.

81. Пат. України 154403 UA, МПК В65Н 3/08. Спосіб орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь / Кармаліта А.К., Пундик С.І., заявник та патентовласник Кармаліта А.К., Пундик С.І. – № 202302942; заяв. 16.06.2023; опуб. 08.11.2023, бюл. № 1.

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

83. 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.

84. 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.

85. Chuansi Gao, John Abeyssekera, Mikko Hirvonen, Carita Aschan, The effect of footwear sole abrasion on the coefficient of friction on melting and hard ice, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 31, Issue 5. – 2003. – P. 323–330.

86. In-Ju Kim, Richard Smith, Hisao Nagata, Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 28, Issue 1. – 2001. – P. 17–29.

87. Буренніков, Ю. А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. А. Немировський, Л. Г. Козлов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 273 с.

88. P. Smith and R. W. Zappe, Valve Selection Handbook: Engineering Fundamentals for Selecting the Right Valve Design for Every Industrial Flow

Application, 5th edition. Amsterdam; Boston: Gulf Professional Publishing. – 2003. – P. 404.

89. Аврунін, Г.А. Основи об'ємного гідропривода і гідропневмоавтоматики : навч. посіб. / Г.А. Аврунін, І.Г. Кириченко, І.І. Мороз; під ред. Г.А. Авруніна. – Харків : ХНАДУ, 2009. – 424 с.

90. Коновал В.П. Натуральні та штучні матеріали для взуття. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Коновал В.П., Рибальченко В.В., Хом'як М.Є., Шевченко Г.І. – К.: КНУТД, 2005 – 218 с.

91. Azambuja P, Marques A, Broega A. Sustainability in the Portuguese fashion accessory & footwear industry (case studies). *Leather and Footwear Journal*. – 2019. – 19(1). – P. 41–50.

92. Bitlissli B, Adıgüzel Zengin A, Yeldiyar G, Kairanbekov G, Küçükakın E. Upper leathers in shoe manufacturing. *Journal of Industrial Technology and Engineering*. – 2013. – 2(07). – P. 37–41.

93. Kaziur P, Mikołajczyk Z, Kłonowska M, Woźniak B. Design Methodology and Technology of Textile Footwear. *Materials*. – 2022. – 15(16). – P. 572.

94. Kaziur P, Mikołajczyk Z, Matusiak M. Identification of wearing comfort of the textile uppers of commercial footwear. Paper presented at: 21st World Textile Conference AUTEX 2022 Passion for Innovation; 2022 Jun 7-10; Lodz, Poland. Lodz University of Technology Press. – 2022. – P. 397–400.

95. Matusiak M, Kamińska D. Liquid Moisture Transport in Cotton Woven Fabrics with Dierent Weft Yarns. *Materials*. – 2022. – 15(18). P. 648.

96. Achour NS, Hamadaoui M, Nasrallah B, Perwuelz A. Investigation of Moisture Management Properties of Cotton and Blended Knitted Fabrics. *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*. – 2015. – 9(7). P. 891-895.

97. Бурмістенков О. П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія. / Бурмістенков О. П., Злотенко Б. М., Коновал В. П., та ін. – Хмельницький, 2007. – 255 с.

98. Bower B. Humans: Shoe steps out of Copper Age: Armenian cave search yields oldest known leather footwear. *Science News*. – 2010. – 178(1). P. 14-18.

99. Dias, Brito & Coto, Neide & Batalha, Gilmar & Driemeier, Larissa. Systematic Study of Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) in the Manufacturing of Protector Devices for the Orofacial System. – 2018. – P. 319-340.

100. Пундик С. І. Фізична модель взаємодії струменів повітря з рельєфом плоскої поверхні / Пундик С. І., Кармаліта А. К. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2024. – № 2 (333). – С. 404–408.

101. Forces on sails [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Forces_on_sails (дата звернення 04.01.2024). – Назва з екрану.

102. Гідроаеродинаміка вітрильного судна [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://sea-man.org/aerodinamika-parusa.html#hodkost-parusnogo-sudna>. (дата звернення 01.02.2024). – Назва з екрану.

103. Яхно О. М. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка : підручник / О. М. Яхно, О. В. Узунов, О. Ф. Луговський та ін. ; за ред. О. М. Яхна. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 711 с.

104. Leishman, J. G. Introduction to Aerospace Flight Vehicles / J. Gordon Leishman. – Embry-Riddle Aeronautical University. – 2023. – P. 2881.

105. 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.

106. Петросюк М. И. Исследование пневмоимпульсных лотков для перемещения деталей обуви: автореф. дис...канд. техн. наук: Киев, 1970. – 16 с.

107. Срібнюк С. М. Гідравлічні та аеродинамічні машини / Срібнюк С. М. – ЦУЛ, 2022. – 328 с.

108. Яворський Б. М. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / Яворський Б. М., Детлаф А. А., Лебедєв А. К. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2007. – 1040 с.

109. Яхимович В.О. Пневматичні механізми автоматичного складання деталей / Яхимович В.О., Вертоградов О.М. – К.: Техніка, 1971. – 88 с.

110. MPX5700DP [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1251405/NXP/MPX5700DP.html> (дата звернення 02.03.2024). – Назва з екрану.

111. Baum, Jeff. Jacobsen, Eric. Very Low-Pressure Sensing Solution with Serial Communication Interface. Motorola application note AN1584/D.– 2017. –Р. 8.

112. HX711 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1147-hx711-dual-channel-weighing-sensor-module> (дата звернення 11.03.2024). – Назва з екрану.

113. HX711 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132222/AVIA/HX711.html> (дата звернення 11.03.2024). – Назва з екрану.

114. 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.

115. Кошовий М.Д. Оптимізація планування при дослідженні технологічних процесів, приладів і систем / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, О.В. Заболотний та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2010.– 161с.

116. Білецький В. С. Методологія наукових досліджень технічних об'єктів та їх оптимізація : навч. посібник / В. С. Білецький ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Київ : ФОП Халіков Руслан Халікович, 2023. – 118 с.

117. Любич О.Й. Експериментальне забезпечення наукових досліджень: навч. посібник / О.Й. Любич, А.Ф. Будник – Суми: ВД СумДУ, 2009. – 186 с.

118. Міронов Д.В. Підвищення ефективності експлуатації обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць постійного струму: дис...канд. техн. наук : 05.22.09 / Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2018. 172 с.

119. Рудич Л.В. Людський потенціал споживчої кооперації як чинник забезпечення якості життя сільського населення: дис...канд. екон. наук : 08.00.07 / Полтавський університет економіки і торгівлі, Полтава, 2016. 244 с.

120. Берладір Х.В. Антифрикційні матеріали на основі механоактивованих політетрафторетилену та наповнювачів: дис...канд. техн. наук : 05.17.06 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2017. 260 с.

121. Лузан П. Г. Методологія та організація науково-педагогічних досліджень: підручник / Лузан П. Г., Сопівник І. В., Виговська С. В. – Київ : Міленіум, 2016. – 491 с.

122. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень : підручник. / Білуха М. Т. – Київ : АБУ, 2002. – 480 с.

123. Кучерук І.М. Загальний курс фізики. Навч. посібник Т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / Кучерук І.М. – К.: Техніка, 1999 – 536 с.

124. В. М. Барановський Загальна фізика: Лабораторний практикум.: навч. Посібник / В. М. Барановський, П. В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін. – К.: Вища школа, 1992 – 509 с.

125. Пат. України 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., заявник та патентовласник Кармаліта А.К., Пундик С.І. – № 202305940; заяв. 07.12.2023; опуб. 02.05.2024, бюл. № 18.

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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 України 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 роботів / А.К. Кармаліта, С.І. Пундик. // 9-та Міжнародна наукова конференція "ІХ 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 International 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

Internacional 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).*

ДОДАТОК Б
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ, ПАТЕНТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи

Хмельницького національного
університету



Олег СИНЮК

2024 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
Пундика С.І. «Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для
контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах
обробки»

Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету для підготовки бакалаврів за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Робототехнічні та мехатронні системи галузі»), зокрема при вивченні дисциплін «Технологічні процеси та обладнання галузі» та дисципліни «Сучасні технології та обладнання виробництв галузі» для підготовки магістрів за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Галузеве машинобудування»).

Розроблена лабораторна робота з дисципліни «Технологічні процеси та обладнання галузі»: «Дослідження процесу орієнтованої подачі плоских деталей взуття на обробку».

Акт обговорений і схвалений на засіданні кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету (протокол №17 від 17.06.2024 року).

Зав. кафедри машин і апаратів,
електромеханічних та енергетичних
систем, д.т.н., проф.

Олег ПОЛЩУК



Беніамін МЕЛЬНИК

2024 р.

АКТ

про впровадження у виробництво результатів дисертаційної роботи Пундика С.І. на тему: **«Обґрунтування конструкційних параметрів пристроїв для контролю положення плоских деталей низу взуття в автоматизованих процесах обробки»**

Ми, ті, що нижче підписалися, представник ПП «КМ-Поділля» директор Мельник В.Л. і представник Хмельницького національного університету Пундик С.І. склали цей акт про те, що ПП «КМ-Поділля» прийняв до впровадження у виробництво автоматичну лінію для обробки плоских деталей низу взуття із натуральної шкіри та синтетичних матеріалів з модулем орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення.

Підприємство «КМ-Поділля», спеціалізується на виробництві взуття для бальних танців та військових потреб, стикається з проблемами автоматизації процесу обробки плоских деталей низу взуття із натуральної шкіри (підшви, основні устілки та ін.) та синтетичних матеріалів. Впровадження розробленої автоматичної лінії для обробки плоских деталей низу взуття дозволить ефективно вирішити ці проблеми.

Очікуваний економічний ефект від впровадження у виробництво автоматичної лінії для обробки плоских деталей низу взуття із натуральної шкіри та синтетичних матеріалів з модулем орієнтації плоских деталей низу взуття за властивостями поверхонь, оснащеного пристроєм для контролю їх положення складатиме 65 тис. грн.

Представник
ПП «КМ-Поділля»



Представник Хмельницького
Національного університету:

Сергій ПУНДИК





УКРАЇНА

**ПАТЕНТ****НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****№ 156054****СПОСІБ ОРІЄНТОВАНОЇ ПОДАЧІ НА ОБРОБКУ ПЛОСКИХ
ДЕТАЛЕЙ З РІЗНОЮ ШОРСТКІСТЮ ПОВЕРХОНЬ З
ПРИСТРОЄМ ПЕРЕОРІЄНТАЦІЇ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей
01.05.2024.

Директор
Державної організації «Український
національний офіс інтелектуальної
власності та інновацій»

О.П. Орлюк



ДОДАТОК В



Рис. В1 – Цифровий електронний USB мікроскоп UKC 1000X

Результати вимірювань нерівностей поверхонь найбільш поширених взуттєвих матеріалів

№	Найменування матеріалів	Вид поверхні	Параметри макронерівностей					
			d_{op} мм	d , мм	h , мм	t , мм	α_H	L , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Шкіра для низу після двоїння	бахтарм'яна	0,11	0,08	0,06	0,15	-	-
2	Шкіра для низу після шліфування бахтарм'яної поверхні	бахтарм'яна	0,42	0,24	0,11	0,51	-	-
3	Шкіра для низу після скуйовдження бахтарм'яної поверхні	бахтарм'яна	0,65	0,35	0,25	0,74	60	-
4	Юфть свиняча	лицьова	1,22	1,22	0,09	2,31	-	-
5	Бичина	виворітна	0,11	0,05	0,07	0,11	75	-
		лицьова	0,59	0,59	0,06	0,92	-	-
		виворітна	0,39	0,21	0,08	0,43	-	-
6	Замша	лицьова	0,81	0,43	0,13	0,78	80	-
7	Мікропориста гума з рисунком "букле" на ходовій поверхні і шліфованою неходовою поверхнею	ходова	2,58	1,31	0,73	2,56	-	-
8	Формовані гумові підмітки з ходовою рифленням ходової поверхні	неходова	0,51	0,25	0,23	0,52	-	-
		ходова	2,08	1,12	0,93	2,84	-	1,45
9	Монолітна гума для підшов спеціального взуття з рифленням ходової поверхні	ходова	8,32	8,32	2,54	18,56	60	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Вовняні тканини з ворсистією	лицьова виворітна	0,05 1,45	0,05 0,81	1,61 0,22	0,09 1,54	75 -	- 1,81
11	Хутро ткане	лицьова виворітна	0,03 1,45	0,03 0,79	2,8 0,21	0,05 1,4	70 -	- 1,53
12	Вельвет-корд гладкофарбований арт.4155	лицьова виворітна	7,12 1,42	7,12 0,81	2,11 0,22	11,58 1,57	- -	- 1,52
13	Вельвет-корд набивний арт.918 арт.905	лицьова виворітна	3,71 1,35	3,71 0,78	2,08 0,19	7,53 1,23	- -	- 2,05
14	Неткане полотно арт.911418	лицьова	3,57	3,57	1,31	7,34	-	-
15	Оксамит	лицьова виворітна	2,13 1,65	1,11 0,83	0,63 0,06	2,36 1,77	- -	1,92 1,84
16	Бавовняні тканини	лицьова виворітна поверхні однакові	0,32 0,41	0,32 0,21	1,22 0,08	0,65 0,53	80 -	- -
17	Шовкові тканини	лицьова виворітна поверхні однакові	1,38	0,72	0,18	1,57	-	1,75
18	Драп взуттєвий	-	0,31	0,15	1,31	0,29	-	-
19	Трикотажне полотно арт.380501	лицьова виворітна	0,17 0,32	0,17 0,21	1,22 0,08	0,41 0,51	80 -	- -
20	Штучне хутро на тканинній основі	лицьова виворітна	0,05 0,53	0,05 0,38	3,13 0,08	0,17 0,95	47 -	- 1,83

1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	Взуттєва кірза	лицьова	1,9	1,9	0,15	3,44	-	-
		виворітна	0,52	0,32	0,18	0,86	-	1,95
22	М'яка шлущна шкіра з тисненням поверхні	лицьова	0,72	0,56	0,75	1,12	-	2,1
		виворітна	-	-	-	-	-	-

ДОДАТОК Г

Таблиця Г1

Технічні характеристики датчика тиску MPX5700DP фірми NXP

Робочий тиск	0-700 кПа
Тип тиску	диференційний
Точність	2,5 %
Робоча напруга живлення	5 В
Мінімальна робоча температура	- 40 С
Максимальна робоча температура	+125 С
Вихідна напруга	4,7 В
Робочий струм живлення	7 мА

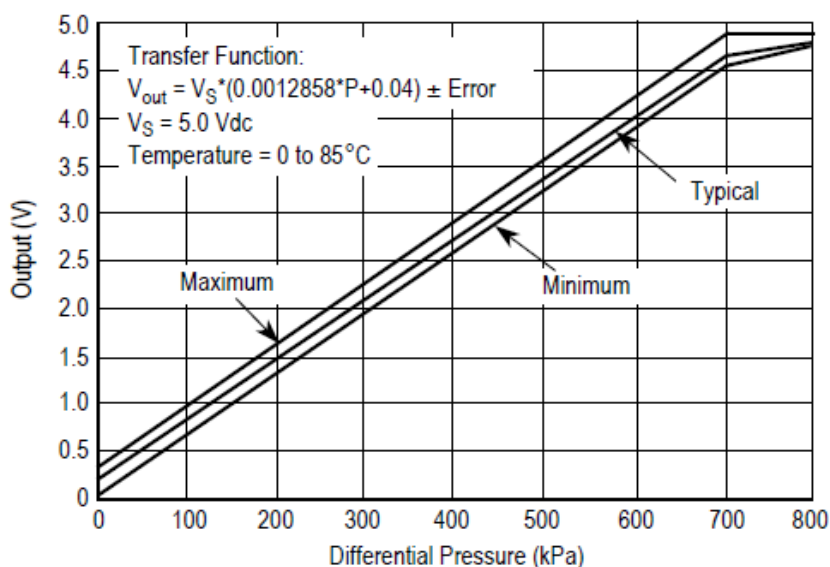


Рис. Г1 – Графік зміни вихідної напруги зі зміною тиску датчика тиску MPX5700DP

На рис. Г2 показаний кристал диференційного (або відносного) датчика в корпусі. На перерізі диференційного датчика тиску видно фторсиліконове покриття, який ізолює поверхню кристала і сполучні провідники від пошкодження твердими частинками, які можуть опинитися в середовищі, що передає тиск діафрагму.

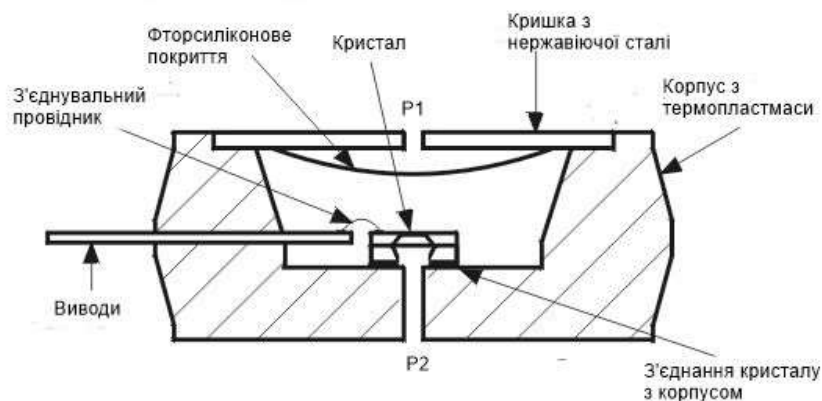


Рис. Г2 – Поперечний переріз датчика диференційного/відносного тиску
(не в масштабі)

На рис. Г3 представлена блок-схема, датчика тиску з вбудованими на кристал елементами термокомпенсації, калібрування та нормалізації вихідного сигналу.



Рис. Г3 – Блок-схема інтегрального датчика тиску MPX5700DP фірми
Motorola

Нормалізація вихідного сигналу реалізована за допомогою чотирьохкаскадного біполярного лінійного підсилювача з використанням тонкоплівкової технології та інтерактивною лазерною підгонкою. Спрощена принципова схема датчика тиску MPX5700DP представлена на рис. Г4.

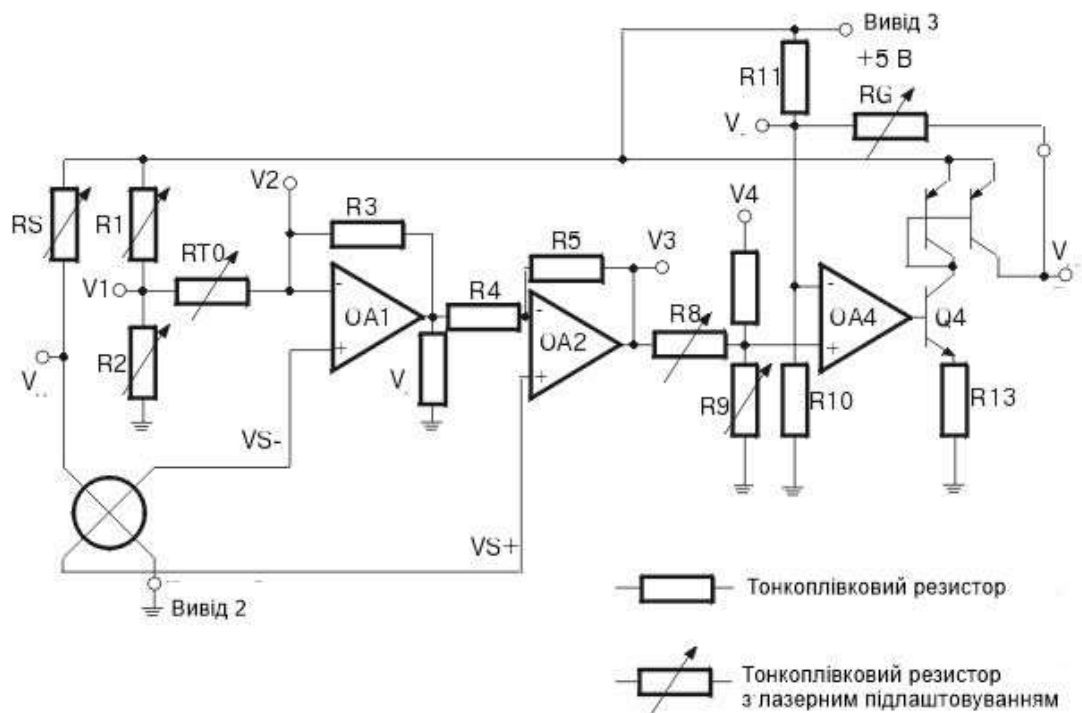


Рис. Г4 – Спрощена принципова схема датчика тиску MPX5700DP

Таблиця Г2

Технічні характеристики тензодатчика YZC-1B-1

Номінальне навантаження	1 кг
Робоча напруга	3,3-10 В
Гранично допустиме навантаження	120%
Руйнівне навантаження	150%
Номінальна вихідна напруга	1.0±0.1 мВ/В
Чутливість	±0.1 мВ/В
Вихідний опір	1000±5% Ом
Робоча температура	-20..+60°C

Таблиця Г3

Технічні характеристики модуля НХ711

Робоча напруга	5 В
Робочий струм	до 10 мА
Інтерфейс	I2C
Максимальна частота оновлення	80 Гц
Розрядність АЦП	24 біт
Диференціальна вхідна напруга	±40 мВ / ±20 мВ
Робоча температура	-40 - +85 °С

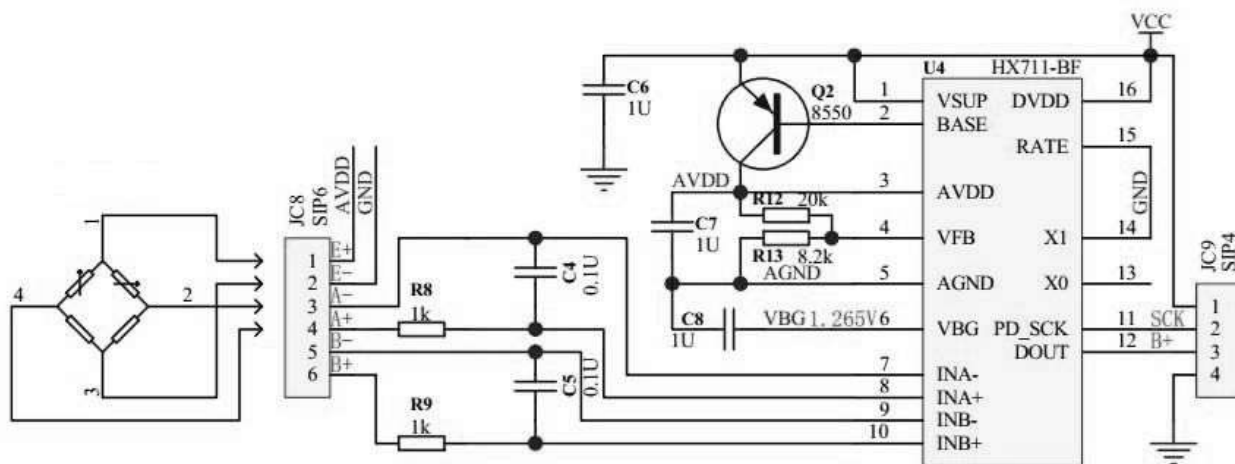


Рис. Г5 – Схема електрична принципова під'єднання тензодатчика YZC-1B-1 до модуля HX711

ДОДАТОК Д

Програма на мові С для експериментальної установки по визначенню зусилля переміщення, швидкість потоку, зміни динамічного, статичного, повного тиску та швидкості переміщення деталі на позиції контролю

```

#include "HX711.h"
#include "Adafruit_VL53L0X.h"
Adafruit_VL53L0X lox = Adafruit_VL53L0X();
HX711 scale;

int rawADC;
float sensorValue;
float pressureValue;
float force;
float time2;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  scale.begin(7, 6);
  scale.set_offset(4294896040);
  scale.set_scale(-894.542602);
  delay(500);
  scale.tare();
  if (!lox.begin()) {
    Serial.println(F("Failed to boot VL53L0X"));
    while (1);
  }
  // power
  Serial.println(F("VL53L0X API Simple Ranging example\n\n"));
}
void(* resetFunc) (void) = 0;//declare reset function at address 0
void loop() {
  float time1 = millis();
  time1 = time1 - time2;
  time1 = time1 / 1000;
  Serial.print(time1, 3);
  Serial.print("\t");

  force = scale.get_units(2);
  Serial.print(force);
  Serial.print("\t");

  rawADC = analogRead(A0); // raw data
  sensorValue = (float) rawADC * 4.99 / 1024.0; // raw data convert to volt

```

```

    pressureValue = (sensorValue - 0.19) / 4.5 * 700.0; // sensor-offset = 0.2V,
voltage range = 4.5V, pressure range = 700kPa, pressure = mV/kPa
    Serial.print(pressureValue);
    Serial.print("\t");

```

```

VL53L0X_RangingMeasurementData_t measure;
lox.rangingTest(&measure, false);
if (measure.RangeStatus != 4) { // phase failures have incorrect data
    Serial.println(measure.RangeMilliMeter);
} else {
    Serial.println(" out of range ");
}

    parsing();
}

```

```

void parsing() {
    if (Serial.available() > 1) {
        char incoming = Serial.read();
        float value = Serial.parseFloat();
        switch (incoming) {
            case 't':
                scale.tare();
                time2 = millis();
                break;
            case 'r':
                resetFunc();
                break;
        }
    }
}

```

ДОДАТОК Е

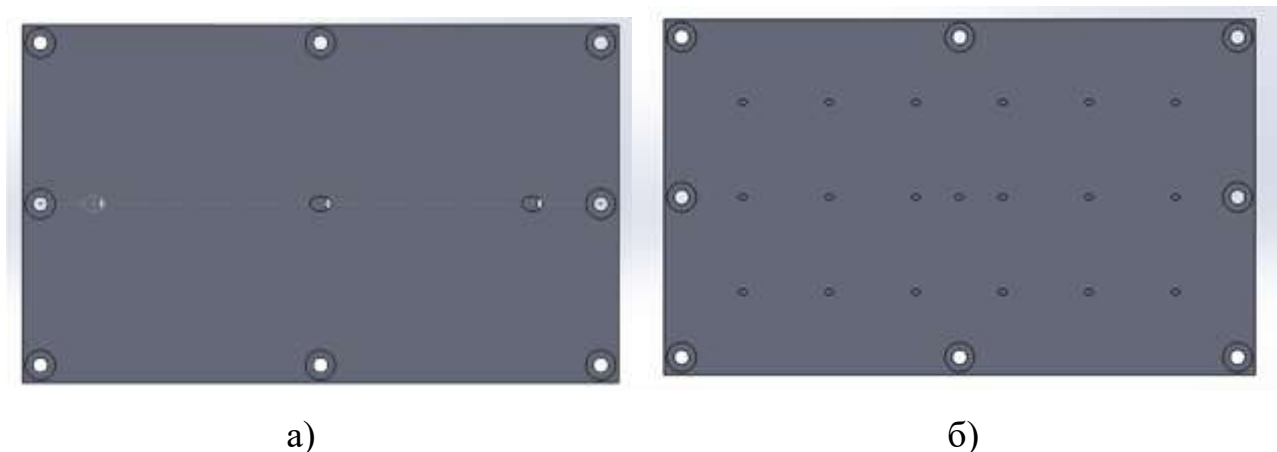


Рис. Е1 – Пластини з соплами спроектовані в програмному середовищі SolidWorks:

а) $n_c=3$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=6$ мм; б) $n_c=19$, $\alpha=45^\circ$, $d_{con}=2$ мм

Таблиця Е1

Матриця планування та робоча матрицю планування експерименту для штучного хутра

j	Матриця планування						Робоча матриця		\bar{y}_j
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	$\alpha, ^\circ$	$n_c, шт.$	$T, Н$
1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	20	3	0.015
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	70	3	0.017
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	20	19	0.05423
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	70	19	0.02018
5	+1	0	0	0	0	0	45	11	0.16
6	+1	+1	0	0	+1	0	70	11	0.018002
7	+1	-1	0	0	+1	0	20	11	0.016004
8	+1	0	1	0	0	+1	45	19	0.1665
9	+1	0	-1	0	0	+1	45	3	0.1572

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	0	-0.09	0.03	106	46.63	0	-0.15	0.02	101	45.39	0	-0.11	0.03	101	47.05				0
2	0.066	0.27	0.02	105		0.065	0.17	0.03	102		0.066	0.2	0.02	103					0.065
3	0.113	0.22	0.03	104		0.112	0.08	0.03	106		0.113	0.29	0.03	104					0.112
4	0.16	0.37	0.02	106		0.16	0.32	0.02	107		0.159	0.19	0.02	105					0.159
5	0.206	0.26	0.02	103		0.206	0.11	0.03	101		0.206	0.1	0.02	99					0.206
6	0.253	0.38	0.02	102		0.253	0.13	0.02	104		0.253	0.3	0.02	98					0.253
7	0.3	0.2	0.02	107		0.3	0.06	0.02	103		0.3	0.17	0.02	103					0.3
8	0.347	0.14	0.02	107		0.347	0.13	0.02	106		0.348	0.2	0.02	104					0.347
9	0.395	0.24	0.03	104		0.394	0.04	0.02	105		0.394	0.23	0.02	104					0.393
10	0.441	0.22	0.02	102		0.44	0.14	0.02	103		0.441	0.18	0.02	105					0.44
11	0.488	0.28	0.02	102		0.487	0.1	0.03	102		0.488	0.12	0.02	109					0.487
12	0.535	0.31	0.03	98		0.534	45.39	81.89	101		0.535	0.18	0.02	102					0.534
13	0.582	0.15	0.03	109		0.581	39.68	62.19	106		0.582	-0.02	0.03	102					0.581
14	0.629	0.21	0.03	104		0.629	28.27	50.06	105		0.629	-0.05	0.03	99					0.628
15	0.675	0.04	0.03	108		0.676	23.44	43.24	108		0.675	0.01	0.02	103					0.675
16	0.722	0.07	0.03	103		0.722	18.25	41.72	107		0.722	-0.07	0.02	104					0.722
17	0.769	0.13	0.03	106		0.769	15.92	35.65	107		0.769	-0.09	87.7	103					0.769
18	0.816	0.06	0.02	105		0.816	15.79	37.17	106		0.817	47.05	78.86	104					0.816
19	0.864	0.1	0.02	103		0.863	15.16	37.17	101		0.864	39.34	63.7	104					0.863
20	0.911	46.63	88.72	101		0.91	15.34	35.65	108		0.911	29.34	52.33	102					0.909
21	0.957	39.98	62.94	103		0.956	15.19	36.41	105		0.957	25.79	50.82	104					0.956
22	1.004	33.42	50.06	101		1.003	15.03	35.65	104		1.004	23.07	44.75	102					1.003
23	1.051	25.29	43.24	104		1.05	15.34	34.9	107		1.051	21.78	44.75	100					1.05
24	1.098	20.27	41.72	105		1.098	15.17	34.9	108		1.098	20.79	47.78	106					1.098
25	1.145	17.94	38.69	107		1.145	15.01	34.9	103		1.145	20.68	44.75	101					1.144

Рис. Е2 – Экспериментальні дані з датчиків в програмному середовищі MS Excel, де стовбець:

A, G, M, S – час, с; B, H, N – зусилля, гс; C, I, O – тиск, Н; D, J, P – сигнал з оптодагчика

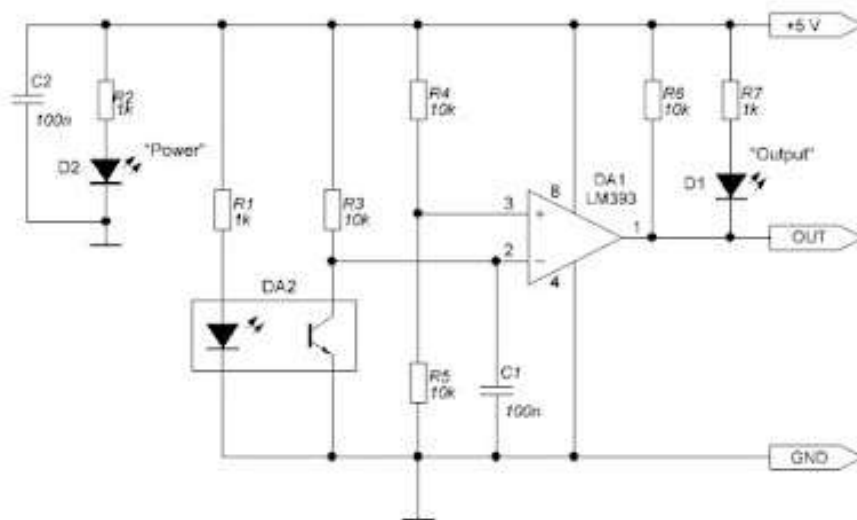


Рис. Е3 – Схема електрична підключення оптичного датчика FC-03

Таблиця Е2

Характеристики оптичного датчика FC-03

Напруга живлення	3,3-5 В
Тип виходу	аналоговий і цифровий
Використовуваний компаратор	LM393
Струм споживання	1,4 мА
Робоча температура	0° ~ +70° С

ДОДАТОК Є

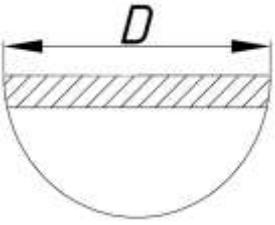
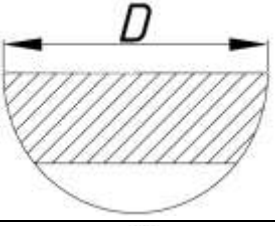
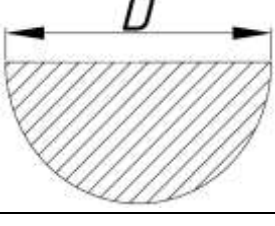
I. Розрахунок зусилля переміщення деталі з EVA на позиції контролю:

1. Згідно рівняння (2.22):

$$F = C_{on} \frac{\rho \left(\frac{4Q}{\gamma \pi d^2 \rho_n n_c} \right)^2}{2} S \cos \alpha + mgf$$

При визначенні коефіцієнта опору C_{on} для деталі з EVA, за основу бралась модель порожнистої сфери (табл. 2.3) і її коефіцієнт опору ділився на 2, так як, струмені повітря діяли тільки на половину сфери. Далі проводилась симуляція в програмі SolidWorks Flow Simulation для пластин з різними кутами нахилу сопел α для визначення площі поверхні S , на яку діють струмені повітря (рис. 2.15). Результати вимірювань показані в таблиці Є1.

Таблиця Є1

Кут нахилу сопел α , °	Проекція поверхні нерівності ($D=10.9$ мм)	Площа поверхні, S	Коефіцієнт опору, C_{on}
20		$S = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi D^2}{8} n_n$	$\frac{1}{3} \cdot 0.71$
45		$S = \frac{4}{5} \cdot \frac{\pi D^2}{8} n_n$	$\frac{4}{5} \cdot 0.71$
70		$S = \frac{\pi D^2}{8} n_n$	0.71

де n_n – кількість нерівностей, на які діють струмені повітря. Визначалась шляхом накладання проекцій пластин з соплами на деталь з EVA.

Для: $n_c = \text{const} = 19 \text{ ум}$

При $\alpha = 20^\circ$

$$F = \frac{1}{3} \cdot 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 19} \right)^2}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 18 \cdot 0.94 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.169H$$

При $\alpha=45^\circ$

$$F = \frac{4}{5} \cdot 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 19} \right)^2}{2} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 18 \cdot 0.707 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.41H$$

При $\alpha=70^\circ$

$$F = 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 19} \right)^2}{2} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 14 \cdot 0.342 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.265H$$

Для: $\alpha=const=45^\circ$

При $n_c=3$

$$F = 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 36 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 3} \right)^2}{2} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 12 \cdot 0.707 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.226H$$

При $n_c=11$

$$F = 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 11.56 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 11} \right)^2}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 14 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.296H$$

При $n_c=19$

$$F = \frac{4}{5} \cdot 0.71 \cdot \frac{1.25 \cdot \left(\frac{4 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1.25 \cdot 19} \right)^2}{2} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{3.14 \cdot 10.9^2 \cdot 10^{-6}}{8} \cdot 18 \cdot 0.707 +$$

$$+ 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.41H$$

2. Згідно рівняння (2.17):

$$F = CQ \frac{4Q}{\gamma \pi d^2 \rho_n n_c} \cos \alpha + mgf$$

Для: $n_c=const=19 \text{ ум}$

При $\alpha=20^\circ$

$$F = 0.12 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 1.25 \cdot 19 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.94 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.215H$$

При $\alpha=45^\circ$

$$F = 0.56 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 1.25 \cdot 19 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.707 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.456H$$

При $\alpha=70^\circ$

$$F = 0.73 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 1.25 \cdot 19 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.342 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.331H$$

Для: $\alpha=const=45^\circ$

При $n_c=3$

$$F = 0.49 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 36 \cdot 1.25 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.707 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.315H$$

При $n_c=11$

$$F = 0.62 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 11.56 \cdot 1.25 \cdot 11 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.707 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.34H$$

При $n_c=19$

$$F = 0.56 \cdot \frac{4 \cdot (6.5 \cdot 10^{-3})^2}{0.7 \cdot 3.14 \cdot 4 \cdot 1.25 \cdot 19 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.707 + 1.8 \cdot 10^{-2} \cdot 9.8 \cdot 0.67 = 0.456H$$

3. Згідно рівняння регресії (3.19):

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot \alpha - 0.00165 \cdot n_c - 0.000273 \cdot \alpha^2 + 0.000375 \cdot n_c^2 + 0.000057 \cdot \alpha \cdot n_c$$

Для: $n_c=const=19um$

При $\alpha=20^\circ$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 20 - 0.00165 \cdot 19 - 0.000273 \cdot 20^2 + 0.000375 \cdot 19^2 + 0.000057 \cdot 20 \cdot 19 = 0.203H$$

При $\alpha=45^\circ$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 45 - 0.00165 \cdot 19 - 0.000273 \cdot 45^2 + 0.000375 \cdot 19^2 + 0.000057 \cdot 45 \cdot 19 = 0.425H$$

При $\alpha=70^\circ$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 70 - 0.00165 \cdot 19 - 0.000273 \cdot 70^2 + 0.000375 \cdot 19^2 + 0.000057 \cdot 70 \cdot 19 = 0.305H$$

Для: $\alpha=const=45^\circ$

При $n_c=3$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 45 - 0.00165 \cdot 3 - 0.000273 \cdot 45^2 + 0.000375 \cdot 3^2 + 0.000057 \cdot 45 \cdot 3 = 0.278H$$

При $n_c=11$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 45 - 0.00165 \cdot 11 - 0.000273 \cdot 45^2 + 0.000375 \cdot 11^2 + 0.000057 \cdot 45 \cdot 11 = 0.327H$$

При $n_c=19$

$$F = -0.3193 + 0.0254 \cdot 45 - 0.00165 \cdot 19 - 0.000273 \cdot 45^2 + 0.000375 \cdot 19^2 + 0.000057 \cdot 45 \cdot 19 = 0.425H$$

II. Розрахунок часу переміщення деталі з позиції контролю:

Згідно рівняння (2.18):

$$t = \sqrt{\frac{2ml}{CQV \cos \alpha - mgf}}$$

Для деталі №1:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.006 \cdot 0.18}{0.91 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.006 \cdot 9.8 \cdot 0.49}} = 0.068c$$

Для деталі №2:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.009 \cdot 0.18}{0.93 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.009 \cdot 9.8 \cdot 0.42}} = 0.083c$$

Для деталі №3:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.015 \cdot 0.18}{0.66 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.015 \cdot 9.8 \cdot 0.75}} = 0.143c$$

Для деталі №4:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.018 \cdot 0.18}{0.71 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.018 \cdot 9.8 \cdot 0.67}} = 0.154c$$

Для деталі №5:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.007 \cdot 0.18}{0.53 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.007 \cdot 9.8 \cdot 0.65}} = 0.101c$$

Для деталі №6:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.006 \cdot 0.18}{0.41 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.006 \cdot 9.8 \cdot 0.42}} = 0.104c$$

Для деталі №7:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.009 \cdot 0.18}{0.43 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.009 \cdot 9.8 \cdot 0.38}} = 0.126c$$

Для деталі №8:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.071 \cdot 0.18}{0.85 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.071 \cdot 9.8 \cdot 0.65}} = 1.246c$$

Для деталі №9:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.055 \cdot 0.18}{0.63 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 0.707 - 0.055 \cdot 9.8 \cdot 0.6}} = 0.908c$$

ДОДАТОК Ж



Рис. Ж1 – Прес гідравлічний S/SE. Atom (Італія)



Рис. Ж2 – Лазерна розкрійна машина NGS LZ1610-2



Рис. ЖЗ – Стрічковий транспортер AgroHelix B



Рис. Ж4 – Машини для нанесення клею на плоскі деталі NGS TW-AL-NS/30



Рис. Ж5 – Тунель для швидкої сушки Cosmorol ELVI UPRC/S



Рис. Ж6 – Двоїльна машина NGS ZH2-420