DOI 10.31891/2307-5732-2025-347-67
УДК 621.319.4:677.024.3

СОЛОМЯНИЙ ЄГОР
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0009-0000-7553-2763
e-mail: solomyanyyy@gmail.com
ГОРЯЩЕНКО СЕРГІЙ
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0000-0001-6623-2523
e-mail: gsl7@ukr.net
ГОРЯЩЕНКО КОСТЯНТИН
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0000-0002-7034-8702
e-mail: kostyakst@ukr.net

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ МАТЕРІАЛІВ У ВИРОБНИЦТВІ ВЗУТТЯ

Автоматизація контролю якості матеріалів у виробництві взуття є ключовим фактором підвищення ефективності та зменшення браку. Сучасні системи машинного зору дозволяють точно ідентифікувати дефекти матеріалів ще на етапі їх підготовки, що значно знижує витрати та покращує якість кінцевого продукту. У цій статті розглянуто основні методи автоматизованого контролю дефектів матеріалів, їх переваги та перспективи розвитку. Запропоновано алгоритм роботи автоматизованого контролю для визначення дефектів у матеріалах, що використовуються для виробництво взуття. Зазначається, що система технічного огляду використовує камери високої роздільної здатності для отримання детального зображення матеріалу поверхні, який використовується для виробництва техніки. Попередня обробка зображення необхідна для усунення можливих перешкод. Це забезпечує чисте зображення для подальшого аналізу.

Алгоритми визначення ключових параметрів зображення, а саме: текстурних характеристик, колірних відмінностей і геометричних особливостей, допомагають визначити ваші дефекти. Після виявлення дефектів проводиться первинний розподіл дефектних елементів. Виявлені дефекти розподілені за категоріями в залежності від їх критичності. Це дозволяє приймати оперативні рішення щодо подальшого використання матеріалу.

Ключові слова: алгоритм, технічний зір, автоматизація, контроль, взуття матеріал.

SOLOMYANIY EHOR
HORIASHCHENKO SERHIY
HORIASHCHENKO KOSTYANTYN
Khmelnytskyi National University

AUTOMATED CONTROL OF MATERIAL DEFECTS IN FOOTWEAR PRODUCTION

The article describes the stages of automated material defect control. It is noted that the technical inspection system uses high-resolution cameras to obtain a detailed image of the surface material used for the production of equipment. Pre-processing of the image is necessary to eliminate possible interference. This provides a clean image for further analysis.

Algorithms for determining key image parameters, namely: textural characteristics, color differences and geometric features, help identify your defects. After detecting defects, an initial distribution of defective elements is carried out. The detected defects are distributed by categories depending on their criticality. This allows you to make operational decisions about the further use of the material.

The module automatically decides if the material can be used, whether it needs to be rejected or sent for additional processing. This stage is integrated with production systems for instant response. The analysis results are displayed graphically: defective areas can be marked on the image, and a report is generated that can be used for further quality analysis and process optimization. All information about detected defects is used for continuous learning and improvement of algorithms. This allows the system to adapt to new conditions and increase the accuracy of analysis over time. Analysis of literature sources showed that the use of deep learning algorithms significantly increases the accuracy of defect detection, which can be adapted for material quality control. The use of machine vision, neural network algorithms and intelligent systems allows you to reduce costs, improve product quality and increase the efficiency of production processes. Further research and development in this area will contribute to the further improvement of control technologies and increase the competitiveness of enterprises

Keywords: algorithm, technical vision, automation, control, footwear material.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасне виробництво взуття є високотехнологічною галуззю, яка поєднує традиційні методи обробки матеріалів із сучасними автоматизованими процесами. Технічний зір відіграє важливу роль у забезпеченні якості продукції, контролю дефектів та оптимізації виробничих процесів.

Аналіз досліджень та публікацій

Сучасна наукова література щодо автоматизованого контролю дефектів матеріалів у виробництві взуття демонструє, що інтеграція систем машинного зору, нейронних мереж та інших сучасних технологій може суттєво підвищити якість кінцевої продукції та оптимізувати виробничий процес. Дослідники акцентують увагу на ранньому виявленні дефектів, зменшенні впливу людського фактору та зниженні витрат за рахунок зменшення відходів.

Авторами роботи [1] розглядаються загальні технологічні процеси виготовлення виробів із різних матеріалів, зокрема акцент робиться на ролі автоматизованих систем у забезпеченні стабільної якості продукції. Автор зазначає, що впровадження автоматизації дозволяє зменшити людську похибку, що позитивно впливає на ефективність контролю якості.

Дослідник [2] детально аналізує впровадження автоматизованих систем контролю якості у виробництві устілок. Основна увага приділяється ранньому виявленню дефектів матеріалів, що дозволяє скоротити витрати та зменшити відсоток браку. Робота підкреслює, що автоматизація дозволяє оперативно реагувати на відхилення у виробничому процесі

У цьому колективному дослідженні [3] автори розглядають комплексний підхід до виробництва з акцентом на ресурсоефективність. Щодо контролю якості матеріалів, робота підкреслює, що своєчасний виявленню дефектів є ключовим фактором для зниження матеріальних витрат та підвищення ефективності виробництва.

Робота [4] присвячена сучасним методам контролю якості в текстильній промисловості. У статті розглядаються застосування методів обробки зображень та машинного зору для виявлення дефектів у тканинах, що мають пряме застосування при контролі якості матеріалів для виготовлення верху взуття

Офіційний документ [5] визначають стандарти якості для верхніх частин взуття. Він містить нормативні вимоги до матеріалів та методи їхнього контролю, що є важливим орієнтиром для виробників. В документі [6] наголошується на необхідності ретельної перевірки матеріалів на всіх етапах виробництва Ці документи охоплюють особливості процесів виготовлення взуття, включаючи контроль якості матеріалів. Особлива увага приділяється стандартам перевірки дефектів на ранніх етапах виробництва, що забезпечує високий рівень індивідуальної якості кінцевого виробу

Автори досліджень [7] розглядали проблеми позіціювання матеріалу у плоскому вигляді. Відзначино наявність асиметрії у матеріалів. Авторами проведено системний аналіз методів контролю положення плоских деталей за асиметрією поверхонь у різних галузях промисловості. Запропоновано класифікацію методів контролю положення плоских деталей залежно від їх фізико-механічних властивостей. Встановлено, що існуючі методи неефективні для плоских деталей взуття і виникає потреба у створенні нових, більш досконалих і надійних методів контролю.

Стаття [8] присвячена огляду сучасних тенденцій автоматизації у виробництві взуття. Особливу увагу дослідники приділяють впровадженню систем машинного зору для контролю якості матеріалів. Автори зазначають, що інтеграція роботизованих систем та автоматизованих методів дозволяє значно покращити стандарти якості та зменшити кількість дефектів.

У своїй роботі [9] автори аналізують можливості застосування штучного інтелекту для підвищення якості контролю у виробництві взуття. Дослідження розглядає як технічні, так і організаційні виклики, пов'язані з впровадженням AI-систем. Висновки свідчать про високий потенціал використання інтелектуальних алгоритмів для оптимізації процесів контролю якості матеріалів

Аналіз цих літературних джерел свідчить, що сучасні технології (машинний зір, нейронні мережі, AI) мають суттєвий вплив на підвищення ефективності контролю якості матеріалів у виробництві взуття. А також дозволяє зрозуміти, що впровадження автоматизованого контролю дефектів матеріалів є ключовим чинником для підвищення якості продукції, а подальші дослідження у цій сфері сприятимуть розвитку інноваційних технологій у виробничих процесах.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження можливості використання систем технічного зору для автоматизованого контролю поверхні матеріалів верху взуття.

Виклад основного матеріалу

Перед початком аналізу матеріал проходить стадію підготовки, що включає використання високоточних сканерів та камер для отримання зображення поверхні матеріалу. Це необхідно для попереднього калібрування сенсорів для корекції освітлення та кольорового спектру. Інколи необхідне видалення пилу та сторонніх включень, які можуть вплинути на аналіз.

Наступний етап автоматизованого контролю дефектів матеріалів полягає в аналізі поверхні матеріалу. На цьому етапі відбувається захоплення зображень за допомогою камер високої роздільної здатності. Використання спектрального аналізу для виявлення невидимих дефектів дозволяє отримати необхідний об'єм даних. Далі проводиться обробка даних за допомогою алгоритмів машинного навчання, які розпізнають недоліки матеріалу.

Після аналізу система класифікує дефекти за рівнем критичності:

- Допустимі дефекти, які не впливають на якість виробу і можуть бути використані у виробництві.
- Виправні дефекти, що потребують додаткової обробки (наприклад, шліфування або фарбування).
- Критичні дефекти, при наявності яких матеріал з такими вадами вибраковується.

Проведений аналіз може бути використано для відповідного прийняття рішень та коригування технологічного процесу. Отже система автоматично виконує необхідні дії на основі аналізу, що пов'язані з відбраківкою матеріалу або маркує його для подальшого коригування. Також передає інформацію про дефекти у систему управління виробництвом. Це наддасть інформацію для регулювання параметрів

різака або преса для уникнення використання дефектних ділянок.

Для реалізації автоматизованого контролю застосовуються такі елементи як:

- камери високої роздільної здатності, які забезпечують детальне зображення матеріалу;
- лазерні або ультразвукові сенсори, що дозволяють виявляти приховані дефекти.

Машинне навчання та нейронні мережі дозволяють аналізувати зображення та приймати рішення.

Впровадження систем технічного зору у виробництво взуття дає такі переваги:

- зменшення браку, своєчасне виявлення дефектів дозволяє уникнути втрат матеріалу;
- оптимізація витрат та зниження кількості відходів та підвищення продуктивності;
- підвищення швидкості виробництва за рахунок автоматизації контролю;
- покращення якості продукції та забезпечення високого рівня стандартизації.

Запропонований алгоритм роботи показано на рис.1.

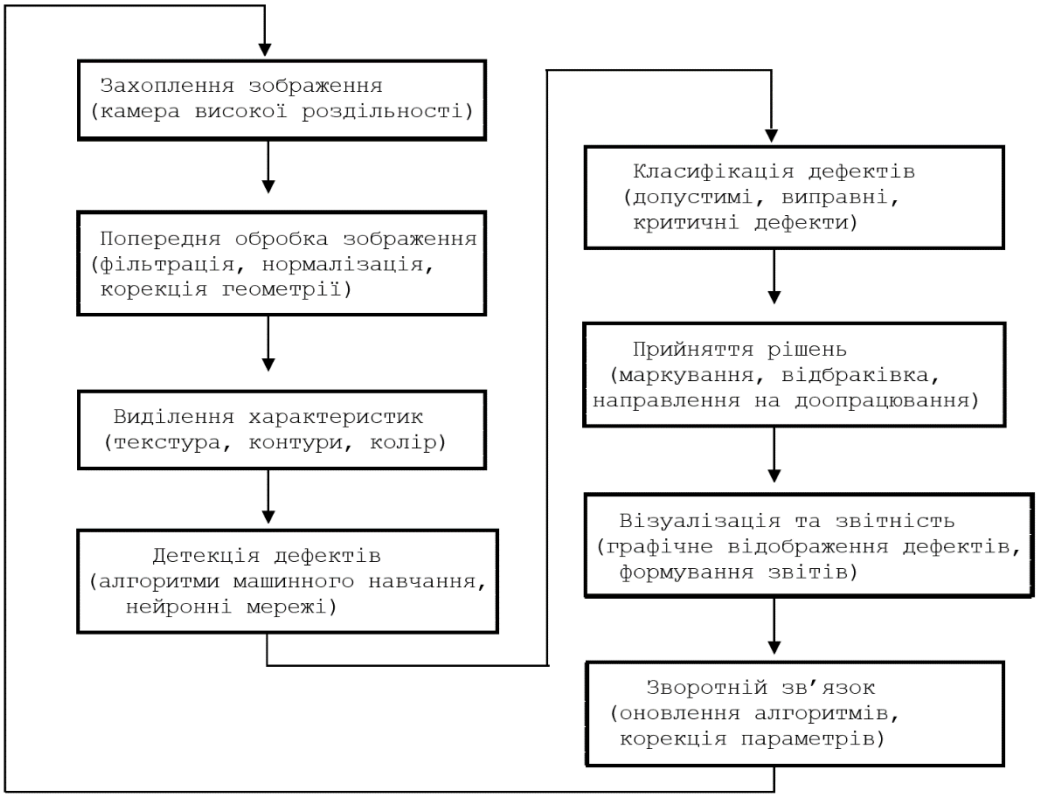


Рис.1. Алгоритм автоматизованого контролю дефектів матеріалу

Для роботи системи технічного зору використовуються камери високої роздільної здатності (іноді з додатковим ультрафіолетовим чи інфрачервоним освітленням) для отримання детальних зображень поверхні матеріалу, що використовується для виробництва взуття. Попередня обробка зображення необхідна для усунення можливих перешкод (шумів, нерівномірного освітлення). Це забезпечує чисте зображення для подальшого аналізу.

Алгоритми для визначення ключових параметрів зображення, а саме: текстурних характеристик, колірних відмінностей та геометричних особливостей, допомагають ідентифікувати потенційні дефекти. Після детекції дефектів відбувається первинний розподіл дефектних елементів. Виявлені дефекти розподіляються за категоріями залежно від їх критичності. Це дозволяє приймати оперативні рішення про подальше використання матеріалу.

Модуль прийняття рішень автоматично визначає, чи може матеріал бути використаний, чи його потрібно відмовити або відправити на додаткову обробку. Цей етап інтегрується з виробничими системами для миттєвої реакції. Результати аналізу відображаються графічно: дефектні ділянки можуть бути позначені на зображенні, а також формується звіт, який може бути використаний для подальшого аналізу якості та оптимізації процесу. Вся інформація про виявлені дефекти використовується для постійного навчання та вдосконалення алгоритмів. Це дозволяє системі адаптуватися до нових умов та підвищувати точність аналізу з часом.

Висновки з даного дослідження
і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Автоматизований контроль дефектів матеріалів є необхідною складовою сучасного виробництва взуття. Використані методи (глибокі нейронні мережі для виявлення дефектів) є релевантними для інших

галузей, включаючи виробництво взуття. Аналіз літературних джерел показав, що застосування алгоритмів глибокого навчання значно підвищує точність виявлення дефектів, що може бути адаптовано для контролю якості матеріалів. Використання машинного зору, нейромережевих алгоритмів та інтелектуальних систем дозволяє зменшити витрати, покращити якість продукції та підвищити ефективність виробничих процесів. Подальші дослідження та розробки в цій сфері сприятимуть подальшому вдосконаленню технологій контролю та підвищенню конкурентоспроможності підприємств.

Література

1. Бабич, А. І. (2021). *Технологія виготовлення виробів з різних матеріалів*. Київ: Київський національний університет технологій та дизайну. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19925/1/TVVRM_NP_2021.pdf
2. Пруднікова Н. Д. Автоматизація технологічного процесу виробництва профілактичних устілок з активним впливом на рефлекторні точки стопи / Н. Д. Пруднікова, Н. В. Первая, А. І. Бабич // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія : Технічні науки. - 2017. - № 3. - С. 185-193. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vknutdtn_2017_3_25.
3. Щербань, В. Ю., Піпа, Б. Ф., Чабан, В. В., Щербань, Ю. Ю., Каплун, В. В., Здоренко, В. Г., & Чубукова, О. Ю. (2016). *Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття*. Київ: Київський національний університет технологій та дизайну. URL: https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1871
4. Mahlo Products & Devices. Measurement and control solutions for industry. URL: https://www.mahlo.com/en/industries/textile.html (дата звернення: 15.12.2024).
5. Міністерство освіти і науки України. (2012). *Складальник верху взуття*. Київ: МОН України. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/pto/standarty/skladalnik-verkhu-vzuttya-17032012.doc
6. Міністерство освіти і науки України. (2015). *Взуттьовик з індивідуального пошиття взуття*. Київ: МОН України URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/pto/standarty/vzutovik-z-individualnogo-poshittya-vzuttya-2015.doc
7. Кармаліта, А. К., & Пундик, С. І. (2024). Methods of controlling the position of flat parts of shoe by asymmetry of the surface properties. *Technologies and Engineering*, (1), 50–59. https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.5
8. Kim, M.-G.; Kim, J.; Chung, S.Y.; Jin, M.; Hwang, M.J. Robot-Based Automation for Upper and Sole Manufacturing in Shoe Production. *Machines* **2022**, *10*, 255. https://doi.org/10.3390/machines10040255
9. Ramos, Leo & Rivas, Francklin & РГ©rez, Anna & Casas, Edmundo. (2023). Artificial intelligence and sustainability in the fashion industry: a review from 2010 to 2022. SN Applied Sciences. 5. 10.1007/s42452-023-05587-2.
10. Рожков С. О. Методи і засоби оцінки якості тканин у системах керування текстильним виробництвом. Херсон: Олді-Плюс, 2011. 316 с.

References

1. Babych, A. I. (2021). Tekhnolohiia vyhotovlennia vyrobiv z riznykh materialiv. Kyiv: Kyivskyi natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19925/1/TVVRM_NP_2021.pdf
2. Prudnikova N. D. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva profilaktychnykh ustilok z aktyvnym vplyvom na reflektorni tochky stopy / N. D. Prudnikova, N. V. Pervaia, A. I. Babych // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriia : Tekhnichni nauky. - 2017. - № 3. - S. 185-193. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vknutdtn_2017_3_25.
3. Shcherban, V. Yu., Pipa, B. F., Chaban, V. V., Shcherban, Yu. Yu., Kaplun, V. V., Zdorenko, V. H., & Chubukova, O. Yu. (2016). Resursooshchadni tekhnolohii vyrobnytstva tekstyliu, odiahu ta vzuttia. Kyiv: Kyivskyi natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. URL: https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1871
4. Mahlo Products & Devices. Measurement and control solutions for industry. URL: https://www.mahlo.com/en/industries/textile.html (data zvernennia: 15.12.2024).
5. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. (2012). Skladalnyk verkhu vzuttia. Kyiv: MON Ukrainy. URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/pto/standarty/skladalnik-verkhu-vzuttya-17032012.doc
6. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. (2015). Vzuttovyk z indyvidualnoho poshyttia vzuttia. Kyiv: MON Ukrainy URL: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/pto/standarty/vzutovik-z-individualnogo-poshittya-vzuttya-2015.doc
7. Karmalita, A. K., & Pundyk, S. I. (2024). Methods of controlling the position of flat parts of shoe by asymmetry of the surface properties. Technologies and Engineering, (1), 50–59. https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.5
8. Kim, M.-G.; Kim, J.; Chung, S.Y.; Jin, M.; Hwang, M.J. Robot-Based Automation for Upper and Sole Manufacturing in Shoe Production. Machines 2022, 10, 255. https://doi.org/10.3390/machines10040255
9. Ramos, Leo & Rivas, Francklin & PH©rez, Anna & Casas, Edmundo. (2023). Artificial intelligence and sustainability in the fashion industry: a review from 2010 to 2022. SN Applied Sciences. 5. 10.1007/s42452-023-05587-2.
10. Rozhkov S. O. Metody i zasoby otsinky yakosti tkanyn u systemakh keruvannia tekstylnym vyrobnytstvom. Kherson: Oldi-Plius, 2011. 316 s.