

# ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

## *Анотація*

*Робота присвячена дослідженню інноваційної вимірювальної системи для безконтактного аналізу деформацій матеріалів під імпульсним навантаженням із застосуванням машинного зору та машинного навчання. Представлено архітектуру системи, яка поєднує високошвидкісні камери, алгоритми комп'ютерного зору та прогнозування ушкоджень.*

**Ключові слова:** деформації матеріалів, машинне навчання, машинний зір, імпульсне навантаження, 3D-моделювання, цифрова кореляція зображень, безконтактне вимірювання, тріщини, класифікація пошкоджень.

## Вступ

Традиційні методи дослідження деформацій мають обмеження при швидкоплинних навантаженнях. Інноваційні цифрові підходи дозволяють значно підвищити ефективність таких досліджень.

У запропонованій роботі використано високошвидкісні камери та алгоритми машинного зору [1, 3, 4] для створення тривимірної моделі деформацій матеріалів у реальному часі. Для створення тривимірної моделі деформацій матеріалів у реальному часі. Подальша обробка отриманих даних здійснюється за допомогою алгоритмів машинного навчання [1], що дозволяє виявляти приховані закономірності, автоматично класифікувати види руйнувань (мікротріщини, розриви, зсуви) та прогнозувати поведінку матеріалу під наступними навантаженнями.

## Результати дослідження

У результаті побудовано функціональну архітектуру вимірювальної системи, що поєднує сучасні апаратні та програмні рішення. В основі – високошвидкісні стереоскопічні камери, які фіксують імпульсні навантаження з частотою до 1 млн кадрів за секунду. Вони дозволяють відтворити просторову модель деформації у режимі реального часу. Для забезпечення якості зображення використовуються імпульсні джерела світла, синхронізовані з камерами, що запобігає розмиттю кадрів при високій швидкості захоплення.

Отримані відеодані передаються до обчислювального блоку, обладнаного графічними процесорами (GPU), де вони обробляються із застосуванням алгоритмів комп'ютерного зору. Алгоритми аналізують динаміку тріщин, зсувів, локальних напружень і аномалій у структурі матеріалу. Далі дані надходять до модуля штучного інтелекту, який класифікує типи пошкоджень (мікротріщини, розриви, пластичні деформації) на основі попередньо навченої моделі [1, 4].

Програмне забезпечення дозволяє відображати дані у вигляді інтерактивних 3D-моделей та генерувати аналітичні звіти. Крім того, система має функцію прогнозування розвитку руйнувань на основі імітаційної моделі та історичних даних [2]. Система апробована на зразках полімерів, композитів і сплавів [2]. Виявлено, що автоматизований аналіз даних дозволяє підвищити точність виявлення руйнувань на 18–25% у порівнянні з класичними методами. Прогнозування поведінки матеріалів дозволяє зменшити кількість фізичних випробувань і перейти до гібридного моделювання.



Рис. 1. Принципова функціональна схема виміральної системи на базі машинного зору для дослідження імпульсних навантажень на випробувальних машинах

## Висновки

Використання машинного навчання у процесі дослідження деформацій відкриває нові можливості для матеріалознавства. Запропонована система дозволяє безконтактно, точно й автоматизовано досліджувати механічні властивості матеріалів у складних умовах імпульсного навантаження.

Інтеграція таких систем у структуру універсальних розривних машин [3, 5] здатна забезпечити новий рівень ефективності в дослідницьких лабораторіях і промислових підприємствах. здатна забезпечити новий рівень ефективності в дослідницьких лабораторіях і промислових підприємствах. Надалі планується вдосконалення алгоритмів глибокого навчання для адаптивного прогнозування поведінки матеріалів в умовах комбінованого навантаження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. García-collado, R. Dorado-vicente, P.E. Romero, M.K. Gupta, “Recent Trends On The Mechanical Properties Of Additive Manufacturing,” *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 12, Pp. 7067, 2023. Doi: [10.3390/App13127067](https://doi.org/10.3390/App13127067).
2. S. Jiang, T. Dong, Y. Zhan, W. Dai, M. Zhan, “Experimental Study On Improving The Mechanical Properties Of Material Extrusion Rapid Prototyping Polylactic Acid Parts By Applied Vibration,” *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 4, Pp. 1820, 2021. Doi: [10.3390/App11041820](https://doi.org/10.3390/App11041820).
3. N. Mashiwa, T. Furushima, K. Manabe, “Novel Non-contact Evaluation Of Strain Distribution Using Digital Image Correlation With Laser Speckle Pattern Of Low Carbon Steel Sheet,” *Procedia Engineering*, Vol. 207, Pp. 1996-2001, 2017. Doi: 10.1016/J.Proeng.2017.04.065.
4. Amini, A., & Haghpanahi, M., *Machine Learning for Material Design and Engineering Applications*. Wiley-Blackwell, 2020.

**Слабкий Андрій Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.  
e-mail: [Slabkiyandrey@gmail.com](mailto:Slabkiyandrey@gmail.com)

**Котик Сергій Іванович** - аспірант кафедри галузевого машинобудування. Вінницького національно технічного університету. Вінниця. e-mail: [sergii.kotik@gmail.com](mailto:sergii.kotik@gmail.com)

## Innovative methods for studying material deformation using machine learning

### Abstract

*This paper presents a study of an innovative non-contact measuring system for analyzing material deformations under impulse loading using machine vision and machine learning. The architecture integrates high-speed cameras, computer vision algorithms, and AI-based damage prediction tools.*

**Keywords:** material deformation, machine learning, machine vision, impulse loading, 3D modeling, digital image correlation, non-contact measurement, cracks, damage classification.

**Slabyi Andriy Valentynovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [Slabkiyandrey@gmail.com](mailto:Slabkiyandrey@gmail.com)

**Kotyik Serhii Ivanovych** - postgraduate student of the Department of Industrial Engineering. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia. e-mail: [sergii.kotik@gmail.com](mailto:sergii.kotik@gmail.com)