

ISSN 2522-4433

Науковий журнал

***ВІСНИК***

ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

***Scientific  
Journal***

***OF THE TERNOPIL NATIONAL  
TECHNICAL UNIVERSITY***

**№ 2 (110) 2023**



# SCIENTIFIC JOURNAL OF THE TERNOPIL NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu)

Scientific Journal

Issued 4 times a year

Founded in September, 1996

**№ 2 (110) 2023**

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.02](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.02)

Founder and publisher:

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

List of journals ISSN 2522-4433

Copyright 10.06.2010 KB № 16861-5624П

Recommended by the Scientific Council of the Ternopil Ivan Puluj National Technical University, protocol No 6, 20.06.2023.

## Editorial board

V. P. Iasnii (Editor-in-Chief), H. V. Krechkovska (Associate Editor), I. B. Okipnyi (Executive Editor), O. Ye. Andreikiv, V. M. Baranovsky, M. P. Karpinskyi, V. A. Kryven, R. M. Kushnir, V. S. Loveikin, S. A. Lupenko, O. L. Lyashuk, V. P. Martsenyuk, P. O. Maruschak, Z. T. Nazarchuk, G. M. Nykyforchyn, M. I. Palamar, O. A. Pastukh, M. R. Petryk, P. V. Popovych, P. D. Stukhlyak, G. T. Sulym, T. M. Vitenko, O. P. Yasniy, V. O. Dzyura, R. M. Rohatynskyy.

## International editorial board

A. Bhaskar (Great Britain), Z. Bozic (Croatia), F. Iacoviello (Italy), J. Fraissard (France), J. Kaleta (Poland), T. Lagoda (Poland), L. Marsavina (Romania), Yu. Lapusta (France), T. Lentla (Estonia), G. Pluvinage (France), K. Smedley (USA), A. Swic (Poland), I. Varfolomeev (Germany), T. Vuherer (Slovenia).

*Editorial office address:* Ternopil Ivan Puluj National Technical University,  
56, Ruska Str.  
Ternopil 46001, Ukraine.  
Tel. (380) 352 51-97-20.  
Fax: (380) 352 254983.  
E-mail: vsn@tu.edu.te.ua

*WWW-address:* visnyk.tntu.edu.ua

**Responsible for translation** J. V. Babiak.

**Managing Editor** Ye. I. Grytsenko.

**Printers reader** N. B. Koval.

**Art Editor, design, typist** N. B. Koval.

**ISSN 2522-4433**

© Ternopil Ivan Puluj National  
Technical University, 2023

# ВІСНИК ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu)

Науковий журнал  
Виходить 4 рази у рік  
Заснований у вересні 1996 р.  
**№ 2 (110) 2023 р.**

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.02](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.02)

## **Засновник і видавець**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Реєстраційний номер ISSN 2522-4433.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серії КВ № 16861-5624ПР від 10.06.2010 р.

Згідно з наказами Міністерства освіти і науки України № 1301 від 15.10.2019 р. та № 1643 від 28.12.2019 р. науковому фаховому журналу «Вісник ТНТУ» присвоєно категорію «Б».

Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя 20.06.2023 р., протокол № 6.

## **Редакційна колегія**

В. П. Ясній (головний редактор), Г. В. Крачковська (заст. головного редактора), І. Б. Окіпний (відповідальний секретар), О. Є. Андрейків, В. М. Барановський, Т. М. Вітенько, М. П. Карпінський, В. А. Кривень, Р. М. Кушнір, В. С. Ловейкін, С. А. Лупенко, О. Л. Ляшук, В. П. Марценюк, П. О. Марущак, З. Т. Назарчук, Г. М. Никифорчин, М. І. Паламар, О. А. Пастух, М. Р. Петрик, П. В. Попович, П. Д. Стухляк, Г. Т. Сулим, О. П. Ясній, В. О. Дзюра, Р. М. Рогатинський.

## **Міжнародна редакційна колегія**

Ж. Божич (Хорватія), А. Бхаскар (Велика Британія), І. Варфоломеев (Німеччина), Т. Вухерер (Словенія), Є. Калета (Польща), Т. Лагода (Польща), Ю. Лапуста (Франція), Т. Лехтла (Естонія), Л. Марсавіна (Румунія), І. Пльовінаж (Франція), К. Смедлі (США), Ж. Фресад (Франція), А. Швіц (Польща), Ф. Яковело (Італія).

*Адреса редакції:* 46001, Тернопіль, вул. Руська, 56.  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя.  
Телефони: (0352)51-97-20,  
факс: (0352) 254983.  
E-mail: vsn@tu.edu.te.ua

*WWW-address:* visnyk.tntu.edu.ua

Відповідальна за переклад статей *Ж. В. Баб'як.*

Редактор *Є. І. Грищенко.*

Коректор *Н. Б. Коваль.*

Комп'ютерне макетування *Н. Б. Коваль.*

**ISSN 2522-4433**

© Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя, 2023