

ISSN 2522-4433

Науковий журнал

***ВІСНИК***

ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

***Scientific  
Journal***

***OF THE TERNOPIIL NATIONAL  
TECHNICAL UNIVERSITY***

**№ 2 (114) 2024**



# 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 (114) 2024**

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2024.02](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.02)

Founder and publisher:

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

List of journals ISSN 2522-4433

Publication media redistratation identibies – R30-02465

Recommended by the Scientific Council of the Ternopil Ivan Puluj National Technical University, protocol No 6, 19.06.2024.

## Editorial board

V. P. Iasnii (Editor-in-Chief), H. V. Krechkovska (Associate Editor), I. B. Okipnyi (Executive Editor), M. B. Aleksander, V. M. Baranovsky, L. G. Bodrova, S. S. Homon, S. S. Gomon, Y. I. Hrytsiuk, M. M. Dorozhovets, V. O. Dzyura, O. V. Ivakhiv, M. P. Karpinskyi, Y. V. Klymenko, O. H. Korchenko, R. M. Kushnir, O. V. Kochan, P. I. Loboda, V. S. Loveikin, O. L. Lyashuk, P. O. Maruschak, P. M. Martyniuk, V. P. Martsenyuk, I. V. Melnyk, A. M. Palamar, M. I. Palamar, O. A. Pastukh, M. R. Petryk, M. I. Pidgurskyi, R. M. Rohatynskyi, V. M. Romashko, A. S. Sverstiuk, M. O. Strembitskyi, P. D. Stukhlyak, G. T. Sulym, B. P. Tomashevsky, Y. V. Turbal, Y. E. Famulyak, M. E. Fryz, O. P. Yasniy.

## International editorial board

Z. Bozic (Croatia), A. Bhaskar (Great Britain), I. Varfolomeev (Germany), T. Vuherer (Slovenia), Y. Zubrzycki (Poland), J. Kaleta (Poland), P. Karczmarek (Poland), T. Lagoda (Poland), Y. Lapusta (France), S. Lupenko (Poland), M. Malek (Poland), L. Marsavina (Romania), G. Pluvinage (France), K. Smedley (USA), L. Sobaszek (Poland), S. Fialko (Poland), J. Fraissard (France), A. Swic (Poland), F. Iacoviello (Italy).

*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, 2024

# 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 (114) 2024 р.**

[https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2024.02](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.02)

## **Засновник і видавець**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
Реєстраційний номер ISSN 2522-4433.

Ідентифікатор друкованого медіа в Реєстрі – R30 - 02465

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 19.06.2024 р., протокол № 6.

## **Редакційна колегія**

В. П. Ясній (головний редактор), Г. В. Кречковська (заст. головного редактора), І. Б. Окіпний (відповідальний секретар), М. Б. Александер, В. М. Барановський, Л. Г. Бодрова, Св. Св. Гомон, Св. Ст. Гомон, Ю. І. Грицюк, В. М. Дорожовець, В. О. Дзюра, О. В. Івахів, М. П. Карпінський, Є. В. Клименко, О. Г. Корченка, Р. М. Кушнір, О. В. Кочан, П. І. Лобода, В. С. Ловейкін, О. Л. Ляшук, П. О. Марущак, П. М. Мартинюк, В. П. Марценюк, І. В. Мельник, А. М. Паламар, М. І. Паламар, О. А. Пастух, М. Р. Петрик, М. І. Підгурський, Р. М. Рогатинський, В. М. Ромашко, А. С. Сверстюк, М. О. Стрембіцький, П. Д. Стухляк, Г. Т. Сулим, Б. П. Томашевський, Ю. В. Турбал, Ю. Є. Фамуляк, М. Є. Фриз, О. П. Ясній.

## **Міжнародна редакційна колегія**

Ж. Божич (Хорватія), А. Бхаскар (Велика Британія), І. Варфоломєєв (Німеччина), Т. Вухерер (Словенія), Я. Зубжицький (Польща), Є. Калета (Польща), П. Карчмарик (Польща), Т. Лагода (Польща), Ю. Лапуста (Франція), С. Лупенко (Польща), М. Малек (Польща), Л. Марсавіна (Румунія), Г. Плювінаж (Франція), К. Смедлі (США), Л. Собашек (Польща), С. Фіалко (Польща), 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. Гриценко.*

Коректор *Н. Б. Коваль.*

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

**ISSN 2522-4433**

© Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя, 2024