

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного  
технічного університету  
«ХПІ». Серія: Математичне  
моделювання в техніці та  
технологіях**

**№2 ' 2021**

**Збірник наукових праць**

**Видання засноване у 1961 р.**

**Bulletin of the National  
Technical University  
"KhPI". Series: Mathematical  
modeling in engineering and  
technologies**

**No.2 ' 2021**

**Collection of Scientific papers**

**The edition was founded in 1961**

**Харків  
НТУ «ХПІ», 2021**

**Kharkiv  
NTU "KhPI", 2021**

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях** = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mathematical modeling in engineering and technologies: 36. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2021. — № 2. — 124 с. — ISSN 2222-0631.

У збірнику наведені результати створення, верифікації та впровадження нових математичних методів та моделей для проектування і дослідження зразків сучасної техніки, виробничих процесів та інформаційних технологій різноманітного призначення.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців в галузях, де застосовується математичне моделювання в техніці та технологіях.

The Bulletin presents the results of development, verification, and implementation of new mathematical methods and models aimed at designing and investigating samples of innovative techniques, manufacturing processes, and information technologies with diverse applications.

The Bulletin is intended for scientists, university teachers, post-graduate students, and specialists in the fields involving mathematical modeling in engineering and technologies.

Державне видання

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації

КВ № 24552-14462Р від 15 липня 2020 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях включений до наукометричної бази Index Copernicus, зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

**Офіційний сайт видання** <http://mmtt.khpi.edu.ua/>

Засновник

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

Founder

National Technical University  
"Kharkiv Polytechnic Institute"

#### Редакційна колегія

##### Головний редактор:

*Ванін В. А.*, д-р. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна.

##### Заст. головного редактора:

*Міхлін Ю. В.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна.

##### Члени редколегії:

*Александров Є. С.*, д-р техн. наук, проф., ХНАДУ, Україна;

*Галуза О. А.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна;

*Григор'єв О. Л.*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна;

*Курпа Л. В.*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна;

*Куценко О. С.*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна;

*Литвин О. М.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., УІПА, Україна;

*Межуєв В. І.*, д-р техн. наук, проф., Університет прикладних наук FH JOANNEUM, Австрія;

*Меньшиков О. В.*, д-р фіз.-мат. наук, Абердинський університет, Великобританія;

*Новожилова М. В.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., ХНУМГ ім. Бекетова, Україна;

*Ольшанський В. П.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., ХНТУСГ ім. Василенка, Україна;

*Першина Ю. І.*, д-р фіз.-мат. наук, доц., НТУ «ХПІ», Україна;

*Просвірін С. Л.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., РІАН, Україна.

##### Відповідальний секретар:

*Набока О. О.*, канд. фіз.-мат. наук., НТУ «ХПІ», Україна.

#### Editorial Board

##### Editor-in-chief:

*Vanin V.*, Dr. Tech. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine.

##### Deputy editor-in-chief:

*Mikhlin Yu.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine.

##### Members of the Editorial Board:

*Aleksandrov Ye.*, Dr. Tech. Sci., Prof., KhNAHU, Ukraine;

*Galuza A.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine;

*Grigoriev O.*, Dr. Tech. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine;

*Kurpa L.*, Dr. Tech. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine;

*Kutsenko O.*, Dr. Tech. Sci., Prof., NTU «KhPI», Ukraine;

*Lytvyn O.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., UEPA, Ukraine;

*Mezhuyev V.*, Dr. Tech. Sci., Prof., FH JOANNEUM University of Applied Sciences, Austria;

*Menshykov O.*, Dr. Phys.-Math. Sci., University of Aberdeen, UK;

*Novozhilova M.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., Beketov NUUE, Ukraine;

*Ol'shanskii V.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., KhNTUA, Ukraine;

*Pershina I.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Docent, NTU «KhPI», Ukraine;

*Prosvirnin S.*, Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., IRA NASU, Ukraine.

##### Executive Secretary:

*Naboka O.*, PhD. Phys.-Math. Sci., NTU «KhPI», Ukraine.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 11 від 26 листопада 2021 р.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ».  
СЕРІЯ: МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕХНІЦІ ТА  
ТЕХНОЛОГІЯХ**

**Збірник наукових праць**

**№ 2 ' 2021**

Науковий редактор д-р техн. наук, проф. Ванін В. А.  
Технічний редактор Нижник С. Д.  
Редактор англійських текстів канд. фіз.-мат. наук Набока О. О.

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».  
Кафедра вищої математики.  
Тел.: (057) 707-60-35, (057) 707-60-87; e-mail: [kpi.mmtt@gmail.com](mailto:kpi.mmtt@gmail.com)  
Сайт: [mmtt.khpi.edu.ua](http://mmtt.khpi.edu.ua)

---

Підп. до друку 30.11.2021 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 7,25. Облік.-вид. арк. 8,0.  
Тираж 100 пр. Зам. № 40551. Ціна договірна.

---

Видавництво «Стильна типографія»  
61002, м. Харків, вул. Чернишевська, 28А  
Тел.: (057) 754-49-42  
e-mail: [zebraprint.zakaz@gmail.com](mailto:zebraprint.zakaz@gmail.com)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
серія ДК №5493 від 22.08.2017 р.