



National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Mechanics and Advanced Technologies

Vol. 7, No. 2, 2023

Founded in 2017

Editor-in-chief

Mukola Bobyr

(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute, Ukraine)

Deputy editor-in-chief

Oleksandr Lugovskyi

(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute, Ukraine)

Georgy Krivov

(Ukrainian Research Institute of
Aviation Technology, Ukraine)

Executive editor

Yuriy Danylchenko

(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic
Institute, Ukraine)

The international science-and-technology
journal "**Mechanics and Advanced Technologies**"
is the successor to the reader in mechanical engineering
"**Journal of Mechanical Engineering NTUU "Kyiv
Polytechnic Institute**"
(ISSN 2305-9001, e-ISSN 2409-5966). Year of issue 1967-2017

Registration Certificate

KB №22698-12598PP від 04.05.2017р

According to the Ministry of Education and Science of Ukraine
orders №1643 of December 28, 2019 "Mechanics and
Advanced Technologies" was included to the List of academic
editions of Ukraine on technical sciences, category "B"

Advised is published by the decision:

*the Scientific Council of Institute of Mechanical Engineering,
protocol No. 3 of 30 October 2023,*

*the Academic Council of the National Technical University
of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute".*

Protocol No. 10 of 6 November 2023.

Editorial Board

Mechanics	Up-to-date machines and the technologies of mechanical engineering	Aviation Systems and Technologies
<p><i>Editors in charge</i> Holm Altenbach (IFME, Otto-von-Guericke- University Magdeburg, Germany)</p> <p><i>Editorial Board</i> Mykhailo Shtern (Institute of Problems in Materials Sciences NAS of Ukraine, Ukraine) Yevhen Nykyforovych (Institute of Hydromechanics NASU, Ukraine) Vladyslav Golub (S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, Ukraine) Jaroslav Stryczek (Politechnika Wroclawska, Poland) Vadim Silberschmidt (Loughborough University, Great Britain) Eugene Olevsky (San Diego State University, United States) Valery I. Levitas (Iowa State University, USA) Chunliang Zhang (Guangzhou University, China)</p>	<p><i>Editors in charge</i> Pavlo Tryvailo (RMIT University, Melbourne, Australia)</p> <p><i>Editorial Board</i> Ihor Kryvtun (Paton Institute of Electric Welding Ukraine) Oleksii Kachan (Motor Sich JSC, Zaporozhye, Ukraine) Rostyslav Iskovych-Lototskyi (Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine) Ljubodrag Tanovic (University of Belgrade, Belgrade) Mikhael Storchak (University of Stuttgart, Germany) Venelin Stojanov Jivkov (Technical University of Sofia, Bulgaria) Dmytro Orlov (Lunds Universitet, Lund, Sweden)</p>	<p><i>Editors in charge</i> Jacob Kleiman (University of Toronto, Canada)</p> <p><i>Editorial Board</i> Konstantyn Zworykin (Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, Ukraine) Piolo Igor (University of Ontario Institute of Technology, Canada) Josef Kaspar (Aerospace Research and Test Establishment, Czech Republic) Haeng Muk Cho (Kongju National University, Korea) Sven Jüttner (IWF, Otto-von-Guericke-University Magdeburg, Germany)) Weiqing Huang (Guangzhou University, China) Josef Kaspar (Aerospace Research and Test Establishment, Czech Republic)</p>

Composition of the advisory board

Vitalii Pasichnyk, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.
Sergiy Shukayev, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
Oleh Yakhno, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
Vasyl Strutynskyi, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
Viktor Maiboroda, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.
Yurii Kuznietsov, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.
Yurii Petrakov, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.
Viacheslav Titov, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine.
Oleh Korostelov, Luch Design Bureau, Ukraine.
Ihor Kravchenko, SE Ivchenko-Progress, Ukraine.

Purpose of edition is to get acquainted with the latest achievements in mechanical engineering, the results of scientific achievements and improved methods of calculation and planning of elements in mechanical engineering constructions. The edition is intended for scientists and scientific and technical specialists in the branch of mechanical engineering.

Articles have been presented in author's version.

The journal publishes only peer-reviewed articles.

The Editorial Board reserves the right to place the authors provided information in different databases.

The collected article is included into general state abstract database "Ukrainika scientific) and international scientometric databases: DOAJ, Index Copernicus, Google Scholar, Open Academic Journals Index (OAJI), WorldCat, BASE, EBSCO.

Editorial office

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,
 building 1, Prospect Beresteyskiy, 37,
 Kyiv, 03056, Ukraine
 Tel. (+38 044) 204-95-37
 E-mail: mmi_2@ukr.net
<http://journal.mmi.kpi.ua/>

Editor
Iryna Babiienko

Desktop publishing
Victoria Lysenko



National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Mechanics and Advanced Technologies

Vol. 7, No. 2, 2023

Заснований в 2017

Головний редактор

Бобир

Микола Іванович

КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна)

Заст. головного редактора

Кривов

Георгій Олексійович

Український НДІ авіаційних
технологій (Україна)

Луговський

Олександр Федорович

КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна)

Відповідальний секретар

Данильченко

Юрій Михайлович

КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна)

Міжнародний науково-технічний журнал "Mechanics and Advanced Technologies" являється правонаступником збірника "Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія машинобудування" (ISSN 2305-9001, e-ISSN 2409-5966) заснованого в 1967 році.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації

КВ №22698-12598ПР від 04.05.2017р

Входить до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук від 28.12.2019 категорія «Б»

Розглянуто і рекомендовано до видання
на засіданні Вченої ради НН Механіко-машинобудівного інституту (протокол №3 від 30.10.2023 р.),
та засіданні Вченої ради "КПІ ім. Ігоря Сікорського"
(протокол №10 від 06.11.2023 р.)

Склад редакційної колегії

Механіка	Прогресивна техніка і технології машинобудування	Авіакосмічні системи та технології
<p><i>Відповідальні редактори</i> Холм Альтенбах (Отто-фон-Геріке університет Магдебурга, Німеччина)</p> <p><i>Члени редколегії</i> Штерн Михайло Борисович (ПМ ім. І.М. Францевича НАНУ, Україна), Никифорович Євген Іванович (Інститут гідромеханіки НАНУ, Україна), Голуб Владислав Петрович (Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАНУ, Україна), Ярослав Стрічек (Вроцлавський політехнічний університет, Польща), Вадим Зілбершмідт (Університет Лафборо, Великобританія), Євген Олевський (Університет штату Сан-Дієго, США), Валерій Левітас (Університет штату Айова, США), Чунліан Чжан (Гуанчжоу університет, факультет механіки та електротехніки, Китай).</p>	<p><i>Відповідальні редактори</i> Тривайло Павло Михайлович (Мельбурнський королівський технологічний університет, Австралія)</p> <p><i>Члени редколегії</i> Кривцун Ігор Віталійович (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Україна), Качан Олексій Якович (Національний університет «Запорізька політехніка», Україна), Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович (Вінницький національний технічний університет, Україна), Любодраг Тановіч (Белградський університет, Сербія), Міхаель Сторчак (Штутгартський університет, Німеччина), Венелін Стоянов Живков (Технічний університет Софії, Болгарія), Дмитро Орлов (Лундський університет, Лунд, Швеція).</p>	<p><i>Відповідальні редактори</i> Якоб Клеймен (Університет Торонто, Канада)</p> <p><i>Члени редколегії</i> Зворикін Константин Олегович (Український НДІ авіаційних технологій, Україна), Піоро Ігор Леонардович (Університет Онтаріо Інститут Технологія, Канада), Хаєнг Мук Чо (Конджукський національний університет, Корея), Ютгнер Свен (Університет ім. Отто фон Геріке, Німеччина), Вейцин Хуан (Гуанчжоу університет, Китай), Йозеф Каспар (Чеський аерокосмічний дослідний центр, Чеська Республіка).</p>

Склад консультативної ради

Пасічник Віталій Анатолійович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Шукаєв Сергій Миколайович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Яхно Олег Михайлович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Струтинський Василь Борисович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Майборода Віктор Станіславович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Кузнецов Юрій Миколайович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Петраков Юрій Володимирович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Тітов В'ячеслав Андрійович (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)
Коростельов Олег Петрович (Державне Київське конструкторське бюро «Луч», Україна)
Кравченко Ігор Федорович (ДП «Івченко-Прогрес», Україна)

Журнал присвячено науково-практичним проблемам механіки деформівного твердого тіла, динаміки та міцності машин, біомеханіки, процесів обробки тиском, прикладної гідроаеромеханіки і промислової гідравліки, вдосконалення методів розрахунку і проектування елементів машинобудівних конструкцій, автоматизації та роботизації машинобудування, розробки і впровадження прогресивних технологій та машин механічної і фізико-технічної обробки матеріалів, а також зварювання.

За достовірність інформації несуть відповідальність автори.

Кожна стаття проходить подвійне сліпе рецензування.

Редакційна колегія залишає за собою право розмішувати надані авторами статті в різних інформаційних базах.

Міжнародний науково-технічний журнал «Mechanics and Advanced Technologies» включений у загальнодержавну реферативну базу даних «Україніка наукова» та міжнародні бази даних: Google Scholar, Open Academic Journals Index (OAJI), DOAJ, Index Copernicus, WorldCat, BASE, EBSCO.

Адреса редакції

КПІ ім. Ігоря Сікорського
 просп. Берестейський, 37, кім. 251
 Київ, 03056, Україна
 Тел. (+38 044) 204-95-37
 E-mail: mmi_2@ukr.net
<http://journal.mmi.kpi.ua/>

Редактор
Ірина Бабієнко

Комп'ютерна верстка
Вікторія Лисенко