



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

*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)

# **Mechanics and Advanced Technologies**

## **#3 (87)**

Founded in 1964

Three issues per year

Registration Certificate

КВ №22698-12598ПР від 04.05.2017р

According to the Ministry of Education and Science of Ukraine orders №1643 on 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 4 on 26.11.2019,*

*the Academic Council of the National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",  
protocol No 11 on 09.12.19.*

**2019**

**Editorial Board**

<b>Mechanics</b>	<b>Up-to-date machines and the technologies of mechanical engineering</b>	<b>Aviation Systems and Technologies</b>
<p><i>Editors in charge</i></p> <p><b>Serhii Shukaiev</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Holm Altenbach</b> (IFME, Otto-von-Guericke- University Magdeburg, Germany)</p> <p><i>Editorial Board</i></p> <p><b>Oleh Yakhno</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Vasyl Strutynskyi</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Mykhailo Shtern</b> (Institute of Problems in Materials Sciences NAS of Ukraine, Ukraine)</p> <p><b>Yevhen Nykyforovych</b> (Institute of Hydromechanics NASU, Ukraine)</p> <p><b>Vladyslav Golub</b> (S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, Ukraine)</p> <p><b>Jaroslav Stryczek</b> (Politechnika Wroclawska, Poland)</p> <p><b>Vadim Silberschmidt</b> (Loughborough University, Great Britain)</p> <p><b>Eugene Olevsky</b> (San Diego State University, United States)</p> <p><b>Valery I. Levitas</b> (Iowa State University, USA)</p> <p><b>Chunliang Zhang</b> (Guangzhou University, China)</p>	<p><i>Editors in charge</i></p> <p><b>Vitalii Pasichnyk</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Pavlo Trivailo</b> (RMIT University, Melbourne, Australia)</p> <p><i>Editorial Board</i></p> <p><b>Viktor Maiboroda</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Yurii Kuznietsov</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Yurii Petrakov</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Ihor Kryvtsun</b> (Paton Institute of Electric Welding, Ukraine)</p> <p><b>Oleksii Kachan</b> (Motor Sich JSC, Zaporozhye, Ukraine)</p> <p><b>Rostyslav Iskovych-Lototskyi</b> (Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine)</p> <p><b>Ljubodrag Tanovic</b> (University of Belgrade, Belgrade)</p> <p><b>Mikhael Storchak</b> (University of Stuttgart, Germany)</p> <p><b>Venelin Stojanov Jivkov</b> (Technical University of Sofia, Bulgaria)</p> <p><b>Heorhyi Tarykov</b> (GSTU, by P.O. Sukhoy, Belarus)</p>	<p><i>Editors in charge</i></p> <p><b>Georgy Kryvov</b> (Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, Ukraine)</p> <p><b>Jacob Kleiman</b> (University of Toronto, Canada)</p> <p><i>Editorial Board</i></p> <p><b>Konstantyn Zworykin</b> (Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, Ukraine)</p> <p><b>Viacheslav Titov</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Vitalii Sukhov</b> (Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine)</p> <p><b>Viacheslav Boguslayev</b> (JSC "Motor Sich", Ukraine)</p> <p><b>Oleksandr Degtyarev</b> (Yuzhnoye State Design Office, Ukraine)</p> <p><b>Oleh Korostelov</b> (Luch Design Bureau, Ukraine)</p> <p><b>Ihor Kravchenko</b> (SE Ivchenko-Progress, Ukraine)</p> <p><b>Serhii Bychkov</b> (Antonov State Enterprise, Ukraine)</p> <p><b>Piolo Igor</b> (University of Ontario Institute of Technology, Canada)</p> <p><b>Josef Kaspar</b> (Aerospace Research and Test Establishment, Czech Republic)</p> <p><b>Haeng Muk Cho</b> (Kongju National University, Korea)</p> <p><b>Sven Jüttner</b> (IWF, Otto-von-Guericke- University Magdeburg, Germany))</p> <p><b>Wei qing Huang</b> (Guangzhou University, China)</p>

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: DAOJ, Index Copernicus, Google Scholar, Open Academic Journals Index (OAJI), WorldCat, BASE, EBSCO.

**Editorial office**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,  
building 1, Ave. Peremogy, 37,  
Kyiv, 03056, Ukraine  
Tel. (+38 044) 204-95-37  
E-mail: mmi\_2@ukr.net

<http://journal.mmi.kpi.ua/>

*Technical editor*

**Iryna Babiienko**



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

*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)

# Mechanics and Advanced Technologies

## #3 (87)

Заснований в 1964

Періодичність – 3 рази на рік

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 Механіко-машинобудівного інституту  
(протокол № 4 від 26.11.2019р.)  
та засіданні Вченої ради «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
(протокол № 11 від 09.12.2019р.)*

**2019**

## Склад редакційної колегії

Механіка	Прогресивна техніка і технології машинобудування	Авіакосмічні системи та технології
<p><i>Відповідальні редактори</i></p> <p><b>Холм Альтенбах</b> (Отто-фон-Геріке університет Магдебурга, Німеччина)</p> <p><b>Шукаєв Сергій Миколайович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><i>Члени редколегії</i></p> <p><b>Яхно Олег Михайлович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Струтинський Василь Борисович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Штерн Михайло Борисович</b> (ІПМ ім. І.М. Францевича НАНУ, Україна)</p> <p><b>Никифорович Євген Іванович</b> (Інститут гідромеханіки НАНУ, Україна)</p> <p><b>Голуб Владислав Петрович</b> (Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАНУ, Україна)</p> <p><b>Ярослав Стрічек</b> (Вроцлавський політехнічний університет, Польща)</p> <p><b>Вадим Зілбершмідт</b> (Університет Лафборо, Великобританія)</p> <p><b>Євген Олевський</b> (Університет штату Сан-Дієго, США)</p> <p><b>Валерій Левітас</b> (Університет штату Айова, США)</p> <p><b>Чунліан Чжан</b> (Гуанчжоу університет, факультет механіки та електротехніки, Китай)</p>	<p><i>Відповідальні редактори</i></p> <p><b>Пасічник Віталій Анатолійович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Тривайло Павло Михайлович</b> (Мельбурнський королівський технологічний університет, Австралія)</p> <p><i>Члени редколегії</i></p> <p><b>Майборода Віктор Станіславович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Кузнєцов Юрій Миколайович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Петраков Юрій Володимирович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Кривцун Ігор Віталійович</b> (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Україна)</p> <p><b>Качан Олексій Якович</b> (Національний університет «Запорізька політехніка», Україна)</p> <p><b>Іскович-Лотоцький Ростислав Дмитрович</b> (Вінницький національний технічний університет, Україна)</p> <p><b>Любодраг Тановіч</b> (Белградський університет, Сербія)</p> <p><b>Міхаель Сторчак</b> (Штутгардський університет, Німеччина)</p> <p><b>Венелін Стоянов Живков</b> (Технічний університет Софії, Болгарія)</p> <p><b>Тариков Георгій Петрович</b> (Білоруський державний університет транспорту, Білорусь)</p>	<p><i>Відповідальні редактори</i></p> <p><b>Кривов Георгій Олексійович</b> (Український НДІ авіаційних технологій, Україна)</p> <p><b>Якоб Клеймен</b> (Університет Торонто, Канада)</p> <p><i>Члени редколегії</i></p> <p><b>Зворикін Констянтин Олегович</b> (Український НДІ авіаційних технологій, Україна)</p> <p><b>Тітов В'ячеслав Андрійович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Сухов Віталій Вікторович</b> (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)</p> <p><b>Богуслав В'ячеслав Олександрович</b> (ВАТ «Мотор Січ», Україна)</p> <p><b>Дегтярьов Олександр Вікторович</b> (Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля, Україна)</p> <p><b>Коростельов Олег Петрович</b> (Державне Київське конструкторське бюро «Луч», Україна)</p> <p><b>Кравченко Ігор Федорович</b> (ДП «Івченко-Прогрес», Україна)</p> <p><b>Бичков Сергій Андрійович</b> (ДП «АНТОНОВ», Україна)</p> <p><b>Піоро Ігор Леонардович</b> (Університет Онтаріо Інститут Технологія, Канада)</p> <p><b>Йозеф Каспар</b> (Чеський аерокосмічний дослідний центр, Чеська Республіка)</p> <p><b>Хаєнг Мук Чо</b> (Конджузький національний університет, Корея)</p> <p><b>Ютнер Свен</b> (Університет ім. Отто фон Геріке, Німеччина)</p> <p><b>Вейцин Хуан</b> (Гуанчжоу університет, Китай)</p>

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 розміщувати 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), DAOJ, Index Copernicus, WorldCat, BASE, EBSCO.

## Адреса редакції

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
просп. Перемоги, 37,  
Київ, 03056, Україна  
Тел. (+38 044) 204-95-37  
E-mail: mmi\_2@ukr.net

<http://journal.mmi.kpi.ua/>

## Технічний редактор

Iryna Babienko