

ISSN 2305-9001

# ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ  
«Київський політехнічний інститут»

## МАШИНОБУДУВАННЯ

### JOURNAL of MECHANICAL ENGINEERING

of the National Technical University of Ukraine

«Kyiv Polytechnic Institute»



2013

69

Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ  
«Київський політехнічний інститут»

Засновник НТУУ «КПІ»

Редакційна колегія

Головний редактор

**М.З. Згуровський**, академік НАНУ, НТУУ «КПІ», Україна

Відповідальний редактор

**М.І. Бобир**, НТУУ «КПІ», Україна

Заст. відповід. редактора

**О.Ф. Луговський**, НТУУ «КПІ» Україна

Відповідальний секретар

**І.І. Бабіско**, НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

**О.М. Яхно**, НТУУ «КПІ», Україна

**Ю.М. Данильченко**, НТУУ «КПІ», Україна

**Н.С. Равська**, НТУУ «КПІ», Україна

**В.А. Пасічник**, НТУУ «КПІ», Україна

**В.Б. Струтинський**, НТУУ «КПІ», Україна

**Ю.М. Кузнецов**, НТУУ «КПІ», Україна

**Ю.В. Петраков**, НТУУ «КПІ», Україна

**А.П. Гавриш**, НТУУ «КПІ», Україна

**І.В. Кривцун**, НТУУ «КПІ», Україна

**В.А. Тітов**, НТУУ «КПІ», Україна

**О.Я. Качан**, АТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя, Україна

**М.Б. Штерн**, чл.-кор. НАНУ, ІПМ ім. І.М. Францевича НАНУ, Україна

**М.В. Новіков**, академік НАНУ, ІНМ ім. В.М. Бакуля НАНУ, м. Київ, Україна

**Г.О. Кривов**, Український НДІ авіаційних технологій, м. Київ, Україна

**Є.І. Никифорович**, чл.-кор. НАНУ, Інститут гідромеханіки НАНУ, м. Київ, Україна

**В.П. Голуб**, ім ім. С.П. Тимошенка НАНУ, м. Київ, Україна

**Р.Д. Іскович-Лотоцький**, ВНТУ, м. Вінниця, Україна

**В.А. Батлук**, НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

**В.Д. Акіншшин**, АПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, Україна

Міжнародна редакційна колегія

**Л. Тановіч**, Белградський університет, Сербія

**М. Сторчак**, Інститут машин та інструментів, Штутгардський університет, Німеччина

**Е. Русинський**, Вроцлавський політехнічний університет, Польща

**Я. Стрічек**, Вроцлавський політехнічний університет, Польща

**Х. Альтенбах**, Отто-фон-Геріке університет Магдебурга, Німеччина

**В. Зілбершмітт**, Університет Лафборо, Великобританія

**В.С. Живков**, чл.-кор. ВАН, Технічний університет Софії, Болгарія

**Е. Олевський**, Університет штату Сан-Дієго, США

**В. Левітас**, Університет штату Айова, США

# ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ  
«Київський політехнічний інститут»



серія

МАШИНОБУДУВАННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Заснований в 1964

№3 (69)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ  
№17906-6756ПР від 17.05.2011р

Відповідно до постанови Президії Вищої атестаційної комісії України від 18.11.2009 року № 1–05/5 журнал внесений до Переліку фахових видань.

Видано за замовленням Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Розглянуто і рекомендовано до видання на засіданні Вченої ради Механіко – машинобудівного інституту НТУУ «КПІ» (протокол № 5 від 23.12.2013 р.)

Для вчених та науково-технічних фахівців у галузі машинобудування.

Матеріали статей представлені в редакції авторів.

Всі статті пройшли наукове рецензування.

Редакційна колегія залишає за собою право розміщати надану авторами статті в різних інформаційних базах.

За достовірність інформації несуть відповідальність автори.

Статті друкуються на мовах оригіналу: українською, російською, англійською, німецькою. Рукописи не повертаються.

Збірник наукових праць "Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" серія машинобудування" входить до наступних міжнародних баз даних:

- Загальнодержавна реферативна база даних "Україніка наукова";
- УРЖ "Джерело";
- Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського;
- Google Scholar;
- РИНЦ «Научная электронная библиотека» (ELIBRARY.ru);
- ВІНТИ.

**Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу видавництва заборонені**

НТУУ «КПІ»  
Київ-2013

## Founder of NTUU "KPI"

### Editorial Board

#### *Editor in Chief*

**M.Z. Zgurovsky** Academician of NASU, (NTUU «KPI», Ukraine)

#### *Vice-editor-in-chief*

**M.I. Bobyr** (NTUU «KPI», Ukraine)

#### *Deputy Vice-editor*

**O.F. Lugovskiy** (NTUU «KPI», Ukraine)

#### *Responsible secretary*

**I.I. Babiyenko** (NTUU «KPI», Ukraine)

**O.M. Yahno** (NTUU «KPI», Ukraine)

**Yu.M. Danylchenko** (NTUU «KPI», Ukraine)

**N.S. Rawska** (NTUU «KPI», Ukraine)

**V.A. Pasichnyk** (NTUU «KPI», Ukraine)

**V.B. Strutynsky** (NTUU «KPI», Ukraine)

**Y.M. Kuznetsov** (NTUU «KPI», Ukraine)

**Y.V. Petrakov** (NTUU «KPI», Ukraine)

**A.P. Gavrish** (NTUU «KPI», Ukraine)

**I.V. Kryvtsun** Correspondent Member of NASU (NTUU «KPI», Ukraine)

**V.A. Titov** (NTUU «KPI», Ukraine)

**A.J. Kachan** (Motor Sich JSC, Zaporozhye, Ukraine)

**M.B. Shtern** Correspondent Member of NASU (Institute of Problems in Materials Sciences NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

**N.V. Novikov** Academician of NASU Director of the Institute Academician of NASU (V. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

**G.O. Krivov** (Ukrainian Research Institute of Aviation Technology, Kyiv, Ukraine),

**E.I. Nikiforovich** Correspondent Member of NASU (Institute of Hydromechanics NASU, Kyiv, Ukraine),

**V.P. Golub** (S.P. Timoshenko Institute of Mechanics, Kyiv, Ukraine)

**R.D. Iskovych-Lototsky** (Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine)

**V.A. Batluk** (National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine)

**V.D. Akinshin** (Heroes of Chernobyl Academy of Fire Safety, Cherkasy, Ukraine)

#### *International Editorial Staff*

**Ljubodrag Tanovic** (University of Belgrad, Serbia)

**Mikhael Storck** (Institute for Machine and Tools University of Stuttgart, Germany)

**Eugeniusz Rusinski** (Wroclaw University of Technology, Poland)

**Jaroslav Strycrek** (Wroclaw University of Technology, Poland)

**Holm Altenbach** (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Germany)

**Vadim Silberschmidt** (Loughborough University, Great Britain)

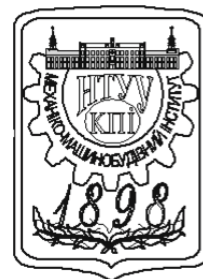
**Venelin Stojanov Jivkov** corresponding member of BAS (Technical University of Sofia, Bulgaria)

**Eugene Olevsky** (San Diego State University, USA)

**Valery I. Levitas** (Iowa State University, USA)

Ministry of Education and Science of Ukraine  
National Technical University of Ukraine  
«Kyiv Polytechnic Institute»

# JOURNAL of MECHANICAL ENGINEERING



National Technical University of Ukraine  
«Kyiv Polytechnic Institute»

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Established in 1964

## №3 (69)

State Registration Certificate KV № 17906-6756PR of 17 May, 2011

The journal is registered in the List of specialized editions pursuant to the Decree of General Committee of the State Commission for Academic Degrees and Titles of Ukraine № 1–05/5 of 18 November, 2009.

The journal is published by the decision of the Scientific Council of Institute of Mechanical Engineering (Record № 5 of 23. 12. 2013)

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.

Collection of scientific papers Journal of Mechanical Engineering National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

- Bibliographic Database "Ukrainika scientific";
- Ukrainian abstract journal "source";
- National Library of Ukraine named after VI Vernadsky;
- Google Scholar;
- Russian Science Citation Index «Научная электронная библиотека» (ELIBRARY.ru)
- Russian Institute for Scientific and Technical Information.

**Copying and distribution without official permission of publishing house are forbidden**

NTUU «KPI»  
2013