

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», м.Київ, Україна

Відповідальний редактор

**М.І. Бобир**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

Заст. відповід. редактора

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

Відповідальний секретар

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

**О.М. Яхно**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

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

**Н.С. Равська**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

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

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

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

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

**А.П. Гавриш**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

**І.В. Кривцун**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

**В.А. Тітов**, НТУУ «КПІ», м.Київ, Україна

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

**М.Б. Штерн**, чл.-кор. НАНУ,

ІПМ ім. І.М. Францевича НАНУ, м.Київ, 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.Д. Акіншин**, АПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, Україна

**О.Г. Гребенніков**, Нац.аерокосм.ун-т ім. М.С. Жуковського "ХАУ", м. Харків, Україна

Міжнародна редакційна колегія

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

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

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

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

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

**В. Зілбершмідт**, Університет Лафборо, Великобританія

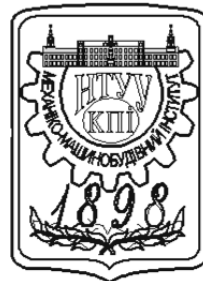
**В.С. Живков**, чл.-кор. ВАН, Технічний університет Софії, Болгарія

**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

# №2 (74)

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

Відповідно до наказу Міністерства освіти та науки України від 06.11.2014 року № 1279 збірник внесений до Переліку наукових фахових видань України.

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 № 3 від 27.10.2015р.)  
та засіданні Вченої ради НТУУ «КПІ» (протокол № 9 від 02.11.2015р.)

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 розміщувати надані 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 переліку наукових фахових видань ВАК України та реферується у Реферативному журналі ВІНІТІ РАН (Росія, Москва), реферативному журналі «Джерело» (Україна, Київ). Електронне видання збірника зберігається у Національній бібліотеці України імені В.І.Вернадського.

Збірник включено у загальнодержавну реферативну базу даних «Україніка наукова» та міжнародні бази даних: Google Scholar, ПІНЦ (eLIBRARY.RU), OAJI (Open Academic Journals Index), CiteFactor.

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

НТУУ «КПІ»  
Київ-2015

**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** (Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine)

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

**A. G. Grebenikov** (Nat. aerospace univ. by N.E. Zhukovskiy "Kharkov aviation inst.", Kharkov, 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)

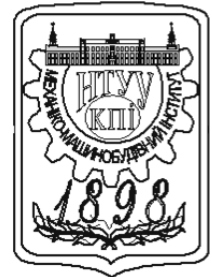
**Venelin Stojanov Jivkov** corresponding member of BAS (Technical University of Sofia, Bulgaria)

**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

## №2 (74)

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 Ministry of Education and Science of Ukraine № 1279 of 06 November, 2014.

The journal is published by the decision of the Scientific Council of Institute of Mechanical Engineering (Record № 3 of 27. 10. 2015) and of the Scientific Council National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» (Record № 9 of 02. 11. 2015)

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 articles is included to the list of scientific professional publications of High Attestation Commission of Ukraine and abstracted in Abstract Journal VINITI of Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow), abstract journal "Dzerelo" (Ukraine, Kyiv).

Electronic publications of collected articles are saved in National library of Ukraine named after V.I.Vernadskiy.

The collected article is included into general state abstract database "Ukrainika scientific" and international scientometric databases: Google Scholar, PIHQ (eLIBRARY.RU), OAJI (Open Academic Journals Index), CiteFactor

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

NTUU «KPI»  
2015