



**SUMY STATE
UNIVERSITY**

p-ISSN 2312-2498

e-ISSN 2414-9381

<http://jes.sumdu.edu.ua>

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES



**ЖУРНАЛ
ИНЖЕНЕРНИХ
НАУК**

**ЖУРНАЛ
ИНЖЕНЕРНЫХ
НАУК**

**Volume 4
Issue 1 (2017)**



**TOP
3%**

Sumy State University
in QS World Universities
Ranking 2018

The Ministry of Education and Science of Ukraine

Міністерство освіти і науки України

Министерство образования и науки Украины



JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

ЖУРНАЛ ІНЖЕНЕРНИХ НАУК

ЖУРНАЛ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК

Scientific Journal

Науковий журнал

Научный журнал

Volume 4, Issue 1 (2017)

Том 4, № 1 (2017)

Founded in 1994

Заснований у 1994 році

Основан в 1994 году

Sumy State University

Сумський державний університет

Сумский государственный университет

“Journal of Engineering Sciences” is an open access scientific journal that covers urgent issues of the modern high-tech production, development of new scientific engineering trends and future technologies.

«Журнал інженерних наук» – це журнал, що публікується у відкритому доступі та висвітлює актуальні питання сучасного високотехнологічного виробництва, розвитку нових наукових течій у техніці та розробки технологій майбутнього.

p-ISSN 2312-2498

e-ISSN 2414-9381

*Recommended for publication
by the Academic Council of Sumy State University,
(minutes No. 11 of 15.06.2017)*

*Рекомендовано до друку
вченою радою Сумського державного університету,
(протокол № 11 від 15.06.2017 року)*

The Journal is the scientific professional edition of Ukraine in the field of Engineering Sciences (ordered by the Ministry of Education and Science of Ukraine, July 13, 2015, No. 747): <http://old.mon.gov.ua/img/zstored/files/747.rar>.

Журнал є фаховим науковим виданням України у галузі технічних наук (Наказ МОН України «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 30 червня 2015 року» № 747 від 13.07.2015: <http://old.mon.gov.ua/img/zstored/files/747.rar>).

The Journal of Engineering Sciences is published with the support of:

– the Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies of Sumy State University (Sumy, Ukraine): <http://teset.sumdu.edu.ua>;

– the Faculty of Manufacturing Technologies with a seat in Prešov of Technical University of Košice (Prešov, Slovak Republic): <http://fvt.tuke.sk>.

Журнал публікується за підтримки:

– факультету технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету (м. Суми, Україна): <http://teset.sumdu.edu.ua>;

– факультету виробничих технологій Технічного університету м. Кошице, (м. Прешов, Словаччина): <http://fvt.tuke.sk>.

Editorial Board: 2 Rymskogo-Korsakova St., 40007, Sumy, Ukraine

Contact Phones: +38 (0542) 334 109; +38 (0542) 687 852

E-mail: jes.sumdu@gmail.com

Web-site: <http://jes.sumdu.edu.ua>

Редакційна колегія: вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, м. Суми, Україна

Контактні телефони: +38 (0542) 687 852; +38 (0542) 334 109

E-mail: jes.sumdu@gmail.com

Веб-сторінка: <http://jes.sumdu.edu.ua>

State registration certificate of the print mass-media No. 2312-2498.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації № 2312-2498.

The Journal of Engineering Sciences is indexed by the following International Scientometric Databases:



Index Copernicus International Journals Master List
<https://journals.indexcopernicus.com>



Directory of Open Access Journals (DOAJ)
<https://doaj.org>



Google Scholar
<https://scholar.google.com>



International Institute of Organized Research (I2OR)
<http://www.i2or.com>



Scientific Indexing Services (SIS)
<http://www.sindexs.org>



Academic Resource Index (Research Bible)
<http://researchbib.com>



Directory of Research Journals Indexing (DRJI)
<http://www.drji.org>



World Cat
<http://www.worldcat.org>



Eurasian Scientific Journal Indexing (ESJI)
<http://esjindex.org>



Journal Impact Factor
<http://jifactor.org>



Impact Factor Services for International Journals (IFSIJ)
<http://ifsij.com>



Journal Factor
<http://www.journalfactor.org>



Open Academic Journals Index (OAJI)
<http://oaji.net>



Academic Keys
<http://academickeys.com>



International Society for Research Activity (ISRA)
 Journal Impact Factor (JIF):
<http://www.israjif.org>



Advanced Science Index (ASI):
<http://journal-index.org>



International Scientific Indexing (ISI):
<http://isindexing.com>

Electronic copies of articles are contained in the Repositories

Електронні копії статей розміщені в репозитаріях



Global Digital Publishing Platform
<https://issuu.com>



Vernadsky National Library of Ukraine
<http://www.nbuv.gov.ua>



Electronic Sumy State University Institutional Repository
<http://essuir.sumdu.edu.ua>

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Криворучко Д. В., д-р техн. наук, професор,
Сумський державний університет, м. Суми,
Україна.

РЕДАКТОР-КОНСУЛЬТАНТ

Марцинковський В. А., д-р техн. наук, професор,
Сумський державний університет, м. Суми, Україна.

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Залого В. О., д-р техн. наук, професор, Сумський
державний університет, м. Суми, Україна;
Склябінський В. І., д-р техн. наук, професор,
Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Гусак О. Г., канд. техн. наук, доцент, Сумський
державний університет, м. Суми, Україна.

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР

Павленко І. В., канд. техн. наук, доцент,
міжнародний інженер-педагог ING. PAED. IGIP,
Сумський державний університет, м. Суми, Україна.

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Ронг Й. (К.), д-р техн. наук, професор, Вустерський
політехнічний інститут, м. Вустер, США;
Південний університет науки та технологій,
м. Шенжень, Китай;
Заяц Й., д-р техн. наук, професор, Технічний
університет м. Кошице, м. Прешов, Словаччина;
Пігель Ян, д-р техн. наук, професор, Технічний
університет м. Кошице, м. Прешов, Словаччина;
Гатала М., канд. техн. наук, професор, Технічний
університет м. Кошице, м. Прешов, Словаччина;
Петрус Р., д-р техн. наук, професор, Жешувська
політехніка, м. Жешув, Польща;
Кундера Ч., д-р техн. наук, професор, Політехніка
Свентокжиська, м. Кельце, Польща;
Сторчак М. Г., д-р техн. наук, професор, Інститут
верстатів Штуттгартського університету,
м. Штутгарт, Німеччина;
Клименко С. А., д-р техн. наук, професор, Інститут
надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН
України, м. Київ, Україна;
Львов Г. І., д-р техн. наук, професор,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», м. Харків, Україна;
Верещака А. С., д-р техн. наук, професор,
Московський державний технічний університет
«Станкін», м. Москва, Російська Федерація;
Швець С. В., канд. техн. наук, доцент, Сумський
державний університет, м. Суми, Україна;
Колесніков В. І., д-р техн. наук, професор,
Ростовський державний університет шляхів
сполучення, м. Ростов, Російська Федерація;

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Kryvoruchko D. V., Doctor of Sciences, Professor,
Sumy State University, Sumy, Ukraine.

ADVISORY EDITOR

Martsynkovskyy V. A., Doctor of Sciences,
Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine.

DUPUTY CHIEF EDITORS

Zaloga V. O., Doctor of Sciences, Professor, Sumy
State University, Sumy, Ukraine;
Sklabinskiy V. I., Doctor of Sciences, Professor,
Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Gusak O. G., Ph.D., Associate Professor, Sumy State
University, Sumy, Ukraine.

ASSOCIATE EDITOR

Pavlenko I. V., Ph.D., Associate Professor,
International Engineer-Educator ING. PAED. IGIP,
Sumy State University, Sumy, Ukraine.

MEMBERS OF EDITORIAL BOARD

Rong Y. (K.), Doctor of Sciences, Professor, Worcester
Polytechnic University, Worcester, USA;
South University of Science and Technology,
Shenzhen, China;
Zajac J., Doctor of Sciences, Professor, Technical
University of Kosice, Presov, Slovakia;
Pitel J., Doctor of Sciences, Professor, Technical
University of Kosice, Presov, Slovakia;
Hatala M., Ph.D., Associate Professor, Technical
University of Kosice, Presov, Slovakia;
Petrus R., Doctor of Sciences, Professor, Politechnika
Rzeszowska, Rzeszow, Poland;
Kundera Cz., Doctor of Sciences, Professor, Kielce
University of Technology, Kielce, Poland;
Storchak M. G., Doctor of Sciences, Professor,
Institute for Machine Tools of Stuttgart University,
Stuttgart, Germany;
Klimenko S. A., Doctor of Sciences, Professor, Bakul
Institute for Superhard Materials of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
Lvov G. I., Doctor of Sciences, Professor, National
Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine;
Vereshchaka A. S., Doctor of Sciences, Professor,
Moscow State Technical University "Stankin",
Moscow, Russian Federation;
Shvets S. V., Ph.D., Associate Professor, Sumy State
University, Sumy, Ukraine;
Kolesnikov V. I., Doctor of Sciences, Professor,
Rostov State Transport University, Rostov-on-Don,
Russian Federation;

Павленко В. І., д-р техн. наук, професор, Белгородський державний технологічний університет, м. Белгород, Російська Федерація;
Мацевитий Ю. М., д-р техн. наук, професор, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків, Україна;
Федорович В. А., д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;
Філімоніхін Г. Б., д-р техн. наук, професор, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна;
Похили Ф., д-р техн. наук, професор, Технічний університет м. Брно, Чехія;
Камбург В. Г., д-р техн. наук, професор, Пензенський державний університет архітектури та будівництва, м. Пенза, Росія;
Атаманюк В. М., д-р техн. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна;
Верещака С. М., д-р техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Дядюра К. О., д-р техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Карпусь В. Є., д-р техн. наук, професор, Академія внутрішніх військ МВС України, м. Харків, Україна;
Пляцук Л. Д., д-р техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Вархола М., д-р техн. наук, професор, Словацький технологічний університет м. Братислава, Словаччина;
Карінцев І. Б., канд. техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Ковальов І. О., канд. техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Мазур М. П., д-р техн. наук, професор, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна;
Петраков Ю. В., д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна;
Симоновський В. І., д-р техн. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;
Сіренко Г. О., д-р техн. наук, професор, Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна;
Шапоров В. П., д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;
Івченко О. В., канд. техн. наук, доцент, Сумський державний університет, м. Суми, Україна.

Pavlenko V. I., Doctor of Sciences, Professor, Belgorod State Technological University, Belgorod, Russian Federation;
Matsevityi Yu. M., Doctor of Sciences, Professor, A. Podgorny Institute for Problems of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;
Fedorovich V. A., Doctor of Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
Filimonikhin G. B., Doctor of Sciences, Professor, Kirovograd National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine;
Pochyly F., Doctor of Sciences, Professor, Brno Technical University, Brno, Czech Republic;
Kamburg V. G., Doctor of Sciences, Professor, Penza State University of Architecture and Building, Penza, Russian Federation;
Atamanyuk V. M., Doctor of Sciences, Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine;
Vereshchaka S. M., Doctor of Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Dyadyura K. O., Doctor of Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Karpus V. E., Doctor of Sciences, Professor, Academy of Internal Forces of the Ministry of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine;
Plyatsuk L. D., Doctor of Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Varchola M., Doctor of Sciences, Professor, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia;
Karintsev I. B., Ph.D., Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Kovalyov I. O., Ph.D., Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Mazur M. P., Doctor of Sciences, Professor, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine;
Petrakov Yu. V., Doctor of Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine "I. Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine;
Symonovskyy V. I., Doctor of Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine;
Sirenko G. O., Doctor of Sciences, Professor, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine;
Shaporev V. P., Doctor of Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
Ivchenko O. V., Ph.D., Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine.