

ISSN 1813-5420

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# ЕНЕРГЕТИКА

економіка, технології, екологія



Науковий журнал

№4–2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# ЕНЕРГЕТИКА

*економіка, технології, екологія*

Науковий журнал

№ 4 (74) - 2023

Виходить 4 рази на рік  
Заснований у березні 2000 року

SMART GRID системи та технології  
Енергетична ефективність та енергозбереження  
Моніторинг, діагностика та керування  
енергетичними процесами та обладнанням  
Технології та обладнання в енергетиці  
Енергетичні системи та комплекси  
Економічні аспекти енергетики

---

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2023

Головний редактор – Ю.І. Якименко

Заступники

головного редактора – С.П. Денисюк, О.С. Яндульський, Є.М. Письменний

Відповідальний секретар – О.О. Закладний

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: А.О. Авраменко, Б.І. Басок, О.Ф. Буткевич, О.О. Вовк,  
(Україна) А.В. Волошко, Г.О. Воропаєв, В.І. Дешко, В.Я. Жуйков,  
С.О. Кудря, А.В. Носовський, М.Я. Островерхов,  
С.М. Пересада, В.А. Попов, Д.Г. Дерев'янка, В.О. Туз,  
О.Ю. Черноусенко, С.П. Шевчук, В.Ф. Шинкаренко

ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ: Е. Хандшин (*Дортмундський технічний університет, інститут енергетичних систем та економіки енергетики, Німеччина*), Річард Стржелецькі (*Інститут електротехніки, Варшава, Польща*), П.Я. Екель (*Папський католицький університет Мінас Жерайс, Бразилія*), А.В. Кузнецов (*Університет штату Північна Кароліна, США*), В.І. Олещук (*Інститут енергетики АН Молдови*), О.В. Кузнецов (*Університет прикладних наук, Німеччина*), Карлос Ф. Пфайфер (*Університетський коледж Південно-Східної Норвегії*), А. Башкіс (*Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва*), Опітс Йоахім (*Інститут енергетики м. Хамм, Німеччина*), В.М. Постолатій (*Інститут енергетики Академії Наук Молдови*), Рошан Шарма (*Університет Південно-Східної Норвегії*).

Веб-сайт журналу <http://energy.kpi.ua>

Журнал зареєстровано Реєстраційний номер Свідоцтва про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ №22857-12775ПР від 14.06.2017 р.

Журнал внесено до Переліку фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук відповідно до наказу МОН України № 1188 від 24 вересня 2020 р. (категорія «Б»). Журнал включено до баз даних «Наукова періодика України» НБУВ, Google Scholar, Index Copernicus, WorldCat, BASE, OpenAIRE, Джерело, URAN, Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, електронного архіву наукових матеріалів ELAKPI. Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 10 від 6 листопада 2023 р.).

Комп'ютерна верстка Я.І. Ханенов, О.О. Закладний

Відповідальний за випуск видання О.О. Закладний

ISSN 1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).

Адреса редакції 03056, Україна, м.Київ, вул.Борщагівська, 115, к.315,  
тел. (38-044) 406-85-14, e-mail: [sekrep@iit.kpi.ua](mailto:sekrep@iit.kpi.ua)

Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського Видавництво «Політехніка»,  
м.Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15.

**Увага!** Передрукування матеріалів іншими виданнями можливе лише з дозволу редакційної колегії журналу **ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія**

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE  
«IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE»

# POWER ENGINEERING

*economics, technique, ecology*

*ENERHETYKA:*  
*ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya*

**The Scientific Journal**

**№ 4 (74) – 2023**

Published 4 issues per year

Founded in March 2000

SMART GRID systems and technologies  
Energy efficiency and energy saving  
Monitoring, diagnostics and management  
of energy processes and equipment  
Technologies and equipment in energy  
Energy systems and complexes  
Economic aspects of energy

---

Kyiv  
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute  
2023

<i>Editor-in-chief-</i>	Yu.I. Yakymenko
<i>Deputy editors-in-chief-</i>	S.P. Denysiuk, O.S. Yandulskyi, E.M. Pysmennyi
<i>Deputy</i>	O.O. Zakladnyi
EDITORIAL BOARD: (Ukraine)	A.O. Avramenko, B.I. Basok, O.F. Butkevych, O.O. Vovk, A.V. Voloshko, G. Voropaiev, V.I. Deshko, V.Ya. Zhuykov, S.O. Kudrya, A.V. Nosovsky, M.Ya. Ostroverkhov, S.M. Peresada, V.A. Popov, D.H. Derevianko, V.O. Tuz, O. Yu. Chernousenko, S.P. Shevchuk, V.F. Shinkarenko
FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:	E. Handschin ( <i>Institute of Power Systems and Power Economics of Dortmund Technical University, Germany</i> ), Richard Strzelecki ( <i>Electro technical Institute, Warsaw, Poland</i> ), P.Y. Ekel ( <i>Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil</i> ), A.V. Kuznetsov ( <i>North Caroline State University, USA</i> ), V. Oleschuk ( <i>Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova</i> ), O. Kuznetsov ( <i>University of Applied sciences, Germany</i> ), Carlos F. Pfeiffer ( <i>University College of Southeast Norway</i> ), A. Baskys ( <i>Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania</i> ), Opitz H. Joachim ( <i>EIH Energy Institute Hamm, Germany</i> ), V. Postolati ( <i>Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova</i> ), Roshan Sharma ( <i>University of South-Eastern Norway</i> ).
Website of the journal	<a href="http://energy.kpi.ua">http://energy.kpi.ua</a>
Journal was registered	Certificate of State Registration Printed Media series KB №22857-12775IIP dated 14 June 2017
<p>The Journal was registered approved by order of MES of Ukraine № 1188 of September 24, 2020 as an occupational edition. The Journal is included in databases «Scientific Periodicals of Ukraine», Google Scholar, Index Copernicus WorldCat, BASE, OpenAIRE, Djerelo, URAN, Polska Bibliografia Naukowa, Research Bible, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Scientific Indexing Services, Cosmos Impact Factor, Infobase Index, Real Time Impact Factor, electronic archive of research materials ELAKPI. Passed for printing under recommendation of Academic Council of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (protocol № 10 on November 6, 2023).</p>	
<p>Desktop publishing Ya.I. Khanenov, O.O. Zakladnyi. Responsible for the publication O.O. Zakladnyi.</p>	
ISSN	1813-5420 (Print), 2308-7382 (Online).
Address of editorial office	03056, Ukraine, Kyiv, 115 Borschagivska str., office 315 tel. (38-044) 406-85-14, e-mail: <a href="mailto:sekrep@ill.kpi.ua">sekrep@ill.kpi.ua</a>
The publisher	Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute Publ.hous«Politehnika», Kyiv, 14 Polytechnique str., b. 15.

**Attention!** Reprint material in other publications only with the permission of editorial board of the journal **POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology**.

© Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023