

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

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Серія «Хімічна інженерія, екологія
та ресурсозбереження»

Збірник наукових праць

*Виходить чотири рази на рік
Заснований у липні 2007 року*

№ 1 (20) – 2021

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Засновник, редакція та видавець –
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 23146-12986ПР від 08.02.2018

ISSN 2617-9741

*Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(протокол № 4 від 5 квітня 2021 року)*

| | |
|--|--|
| Мови видання: | українська, російська, англійська |
| Головний редактор: | ПАНОВ Євген Миколайович, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| Заступники головного редактора: | ГОМЕЛЯ Микола Дмитрович, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна ЖУЧЕНКО Анатолій Іванович, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна ЩЕРБИНА Валерій Юрійович, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| Члени редакційної колегії: | |
| ANTONYUK Sergiy | Technische Universitat Kaiserslautern, Germany |
| АТАМАНЮК Володимир | Національний університет "Львівська політехніка", Україна |
| БІДЮК Петро | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| ЧАРНИЙ Дмитро | Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ, Україна |
| DRONOVA Iryna | University of California at Berkeley, USA |
| FIALOVA Simona | Brno University of Technology, Czech Republic |
| ГОНДЛЯХ Олександр | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| HOSSEINZADEH Siamak | University of Pretoria, South Africa |
| KAFAROV Viatcheslav | Industrial University of Santander, Colombia |
| КАРВАЦЬКИЙ Антон | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| KENIG Eugeny | Paderborn University, Germany |
| КХАН Anish | King Abdulaziz University, Saudi Arabia |
| КОРНІЄНКО Богдан | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| КОРНІЄНКО Ярослав | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| КУПІН Андрій | Криворізький національний університет, Україна |
| KURC Beata | Poznan University of Technology, Poland |
| LIJEWSKI Piotr | Poznan University of Technology, Poland |
| MARIN Guy | Belgium Ghent University, Belgium |
| МАХІМОВ Jordan | Technical University of Gabrovo, Bulgaria |
| МІКУЛЬОНОК Ігор | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| ОСАДЧИЙ Сергій | Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна |
| ПЕТРУК Василь | Вінницький національний технічний університет, Україна |
| POLYUSHKIN Dmitry | Vienna University of Technology, Austria |
| SAKHAROV Volodymyr | University of Zielona Gora, Poland |
| ШАБЛІЙ Тетяна | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| СІВЕЦЬКИЙ Володимир | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| СКЛАБІНСЬКИЙ Всеволод | Сумський державний університет, Україна |
| СНЕЖКИН Юрій | Інститут технічної теплофізики НАНУ, Україна |
| ТАРАСЕНКО Юрій | Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка НАНУ, Україна |

| | |
|-------------------|--|
| ТРОХИМЕНКО Ганна | Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Україна |
| ULLAH Atta | Institute of Engineering and Applied Sciences, Pakistan |
| VAN GEEM Kevin | Belgium Ghent University, Belgium |
| ВОЛОЩУК Володимир | КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна |
| YABLONSKY Gregory | Saint Louis University, USA |
| ЯКУБ Лідія | Одеська національна академія харчових технологій, Україна |

Відповідальний секретар: ВЕМБЕР Валерія Володимирівна, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

Технічний секретар: НОСАЧОВА Юлія Вікторівна, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

Адреса редакції і видавця: Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".
Address: 37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056,
Tel.: +380 (67) 442-10-79.
E-mail: vvember@gmail.com

Надруковано: Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Свідчення про державну реєстрацію: Серія ДК № 5354 від 28.05.2017 р., просп. Перемоги, 37, 03056, Київ

Підп. до друку 14.04.2021. Формат 60x84¹/₁₈. Папір офс. Гарнітура Times New Roman.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 9,76. Обл.-вид. арк. 14,25. Наклад 30 пр.
Зам. № 21-046.

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ 03056, тел. (044) 204-81-78

Орфографію авторів статей збережено

Журнал включено до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України за спеціальностями: 161 Хімічні технології та інженерія; 133 Галузеве машинобудування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 101 Екологія (відповідно до наказів МОНУ № 1643 від 28.12.2019 р. та № 409 від 17.03.2020 р).

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

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

Series «Chemical engineering, ecology
and resource saving»

Collection of scientific papers

Published: since July 2007

Frequency: quarterly

No. 1 (20) – 2021

Kyiv
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
2021

Founder, Editor and Publisher –
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Certificate of State Registration
KB № 23146-12986ПП 08.02.2018

ISSN 2617-9741

*Recommended by the University Senate of the National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
(Protocol No. 4 of April 5, 2021)*

Publication languages: Ukrainian, Russian, English

Editor in Chief: Yevgen PANOV, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
Deputy Editors-in-Chief: Mykola GOMELYA, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
Anatoliy ZHUCHENKO, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
Valeriy SCHERBINA, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

Editorial Team:

| | |
|----------------------|--|
| Sergiy ANTONYUK | Technische Universitat Kaiserslautern, Germany |
| Volodymyr ATAMANYUK | Lviv Polytechnic National University, Ukraine |
| Petro BIDYUK | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Dmytro CHARNYI | Institute of Environmental Geochemistry of NASU, Ukraine |
| Iryna DRONOVA | University of California at Berkeley, USA |
| Simona FIALOVA | Brno University of Technology, Czech Republic |
| Aleksandr GONDLYAKH | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Siamak HOSSEINZADEH | University of Pretoria, South Africa |
| Viatcheslav KAFAROV | Industrial University of Santander, Colombia |
| Anton KARVATSKII | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Eugeniy KENIG | Paderborn University, Germany |
| Anish KHAN | King Abdulaziz University, Saudi Arabia |
| Yaroslav KORNIENKO | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Bohdan KORNIYENKO | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Andrey KUPIN | Kyryvyi Rih National University, Ukraine |
| Beata KURC | Poznan University of Technology, Poland |
| Piotr LIJEWSKI | Poznan University of Technology, Poland |
| Guy MARIN | Belgium Ghent University, Belgium |
| Jordan MAXIMOV | Technical University of Gabrovo, Bulgaria |
| Ihor MIKULIONOK | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Sergei OSADCHY | Central Ukrainian National Technical University, Ukraine |
| Vasil PETRUK | Vinnitsia National Technical University, Ukraine |
| Dmitry POLYUSHKIN | Vienna University of Technology, Austria |
| Volodymyr SAKHAROV | University of Zielona Gora, Poland |
| Tetyana SHABLIY | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Volodymyr SIVETSKII | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Vsevolod SKLABINSKYI | Sumy State University, Ukraine |

| | |
|----------------------|--|
| Yurii SNEZHKIN | Institute of Engineering Thermophysics of NASU, Ukraine |
| Yurii TARASENKO | Chuiko Institute of Surface Chemistry of NASU, Ukraine |
| Ganna TROKHIMENKO | Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine |
| Atta ULLAH | Institute of Engineering and Applied Sciences, Pakistan |
| Kevin VAN GEEM | Belgium Ghent University, Belgium |
| Volodymyr VOLOSHCHUK | Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine |
| Gregory YABLONSKY | Saint Louis University, USA |
| Lydia YAKUB | Odessa National Academy of Food Technologies, Ukraine |

Executive Secretary: Valeriya VEMBER, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

Technical Secretary: Yuliia NOSACHOVA, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

Editorial and publisher address: National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".
Address: 37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056,
Tel.: +380 (67) 442-10-79.
E-mail: vvember@gmail.com

Printed: National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Certificate of State Registration: Series DK No. 5354 of 28.05.2017, 37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056

Підп. до друку 14.04.2021. Формат 60x84¹/₁₈. Папір офс. Гарнітура Times New Roman.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 9,76. Обл.-вид. арк. 14,25. Наклад 30 пр.
Зам. № 21-046.

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ 03056, тел. (044) 204-81-78

The spelling of the articles' authors is given unchanged

The journal is included to the category "B" of the List of scientific professional publications of Ukraine by specialties: 161 Chemical technologies and engineering; 133 Industrial engineering; 151 Automation and computer-integrated technologies; 101 Ecology (according to the orders of the Ministry of Education and Science No. 1643 of 28.12.2019 and No. 409 of 17.03.2020).

© Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2021