

ISSN 2071-2227  
E-ISSN 2223-2362



# НАУКОВИЙ ВІСНИК

Національного  
гірничого  
університету

НАЦІОНАЛЬНОГО ГІРНИЧОГО УНІВЕРСИТЕТУ • 2018

НАУКОВИЙ ВІСНИК

НАУКОВИЙ ВІСНИК НГУ • 2018

*Дніпро*

5

5

2018



Державний вищий навчальний заклад  
„Національний гірничий університет“

# НАУКОВИЙ ВІСНИК

Національного  
гірничого  
університету

Науково-технічний журнал

№ 5 (167) • 2018

Виходить 6 разів на рік • Заснований у вересні 1998 р.

Геологія  
Розробка родовищ корисних копалин  
Фізика твердого тіла, збагачення корисних копалин  
Геотехнічна і гірнича механіка, машинобудування  
Електротехнічні комплекси та системи  
Технології енергозабезпечення  
Екологічна безпека, охорона праці  
Інформаційні технології, системний аналіз та керування  
Економіка та управління

Дніпро  
2018

Головний редактор	Г. Г. Півняк
Заступники головного редактора	О. С. Бешта, П. І. Пілов, О. М. Шашенко
Відповідальний редактор	Т. В. Барна
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ: (Україна)	М. О. Алексєєв, А. В. Бардась, В. І. Бондаренко, В. І. Бузило, А. Ф. Булат, О. Г. Вагонова, В. В. Гнатушенко, В. І. Голінько, М. М. Довбніч, Р. О. Дичковський, О. В. Єрмошкина, А. О. Задоя, Г. О. Козлакова, В. В. Лукінов, В. Ф. Приходченко, В. В. Проців, Т. Б. Решетілова, М. В. Рузіна, Д. В. Рудаков, В. С. Савчук, І. О. Садовенко, О. В. Садовий, В. І. Самуся, О. О. Сдвижкова, В. П. Франчук, Ю. М. Халімендик, Ю. Т. Хоменко, В. Я. Швець, Ф. П. Шкрабець
ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:	Ю. Білан ( <i>Університет Щецина, Польща</i> ), М. Д. Венедиктов ( <i>Московський технічний університет зв'язку та інформатики, РФ</i> ); Р. Вюрзлін ( <i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i> ); Г. Грулер ( <i>Ройтлінгенський університет, ФРН</i> ); А. Дичко ( <i>Інститут мінеральної сировини та енергетики Польської академії наук, Республіка Польща</i> ), К. Дребенштедт ( <i>Технічний університет „Фрайберзька гірнична академія“, ФРН</i> ); Ю. Дубінські ( <i>Головний інститут гірничої справи, Республіка Польща</i> ); В. В. Кармазин ( <i>Московський державний гірничий університет, РФ</i> ); Є. Кіцкі ( <i>Інститут мінеральної сировини та енергетики Польської академії наук, Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i> ); Т. Майхерчик ( <i>Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i> ); Н. Нойбергер ( <i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i> ); Б. Ракішев ( <i>Казахський національний технічний університет, Республіка Казахстан</i> ); Х. Рамадан ( <i>Технологічний Університет Бельфор-Монбел'яра, Франція</i> ); Р. Сінгхал ( <i>Університет Калгарі, Канада</i> ); О. Стовас ( <i>Норвезький університет природничих наук та технології, Королівство Норвегія</i> ); Д. Стургул ( <i>Університет Аделаїди, Австралійський Союз</i> ); А. Тайдусь ( <i>Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця, Республіка Польща</i> ); Я. Теліандер ( <i>Університет Заходу, Королівство Швеція</i> ); С. Форліч ( <i>Вроцлавська вища банківська школа, Республіка Польща</i> ); В. Чарнецкі ( <i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i> ); М. Шмідт ( <i>Бранденбурзький технічний університет, ФРН</i> ), Г. Шмідт ( <i>Есслінгенський університет прикладних наук, ФРН</i> )
	Журнал включено до міжнародних наукометричних баз Scopus, Index Copernicus Journal Master List та баз EBSCOhost і ProQuest, каталогів періодичних видань Ulrichsweb Global Serials Directory та ResearchBib, реферується в базі даних „Україніка наукова“, у журналах „Джерело“ та ВІНІТІ РАН (РФ).
	Передплата здійснюється в поштових відділеннях України за „Каталогом періодичних видань“ (передплатний індекс: 89166) і в передплатних агентствах „Укрінформнаука“ (індекс: 10107) та „Ідея“ (індекс: 17736).
	Комп'ютерна верстка Т. О. Клименко. Коректор М. Т. Сисун. Журнал підписано до друку за рекомендацією вченої ради Державного вищого навчального закладу „Національний гірничий університет“ (протокол № 12 від 09.10.2018 року)
Журнал зареєстровано	у Міністерстві юстиції України. Реєстраційний номер КВ № 17742-6592ПП від 27.04.2011. Наклад 200 прим. Зам. № 1. Підписано до друку 22.10.2018. Формат 60 × 90/8. Ум. друк. арк. 20. Папір офсетний.
Засновник та видавець	Національний технічний університет „Дніпровська політехніка“, м. Дніпро. „Свідоцтво суб'єкта видавничої справи“ ДК №1842 від 11.06.2004
Адреса видавця та редакції:	49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19, корпус 3, к. 24а Тел.: (0562) 47 45 24, e-mail: nv.ngu@ukr.net; www.nvngu.in.ua; nv.nmu.org.ua
Виготовлення:	ПП КФ „Герда“. 49000, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 60. „Свідоцтво суб'єкта видавничої справи“ ДК №397 від 03.04.2001



National Mining University

# NAUKOVYI VISNYK

Natsionalnoho  
Hirnychoho Universytetu

Scientific and technical journal

No 5 (167) • 2018

Bi-Monthly statement • Founded in September 1998

Geology

Mining

Solid State Physics, Mineral Processing

Geotechnical and Mining Mechanical Engineering,  
Machine Building

Electrical Complexes and Systems

Power Supply Technologies

Environmental Safety, Labour Protection

Information Technologies,  
Systems Analysis and Administration

Economy and Management

---

Dnipro  
2018

*Editor-in-chief* G. G. Pivnyak  
*Deputy editors-in-chief* O. S. Beshta, P. I. Pilov, O. M. Shashenko  
*Executive editor* T. V. Barna

EDITORIAL BOARD: (Ukraine) M. A. Alekseiiev, A. V. Bardas, V. I. Bondarenko, V. I. Buzylo, A. F. Bulat, O. G. Vagonova, M. M. Dovbnich, R. O. Dychkovskiy, V. I. Golinko, V. V. Hnatushenko, A. O. Zadoia, G. O. Kozlakova, V. V. Lukinov, V. F. Prykhodchenko, V. V. Protsiv, T. B. Reshetilova, D. V. Rudakov, M. V. Ruzina, V. S. Savchuk, I. O. Sadovenko, A. V. Sadovoy, V. I. Samusia, Ye. A. Sdvizhkova, V. P. Franchuk, Yu. M. Khalimendyk, Yu. T. Khomenko, V. Ya. Shvets, F. P. Shkrabets, O. V. Yermoshkina

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD: Yu. Bilan (*Szczecin University, Poland*), M. D. Venedyktov (*Moscow Technical University of Communications and Informatics, Russian Federation*); R. Würslin (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); G. Gruhler (*Reutlingen University, Federal Republic of Germany*); A. Dyczko (*The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Republic of Poland*), C. Drebenstedt (*Freiberg University of Mining and Technology, Federal Republic of Germany*); J. Dubinski (*Central Mining Institute, Republic of Poland*); V. V. Karmazin (*Moscow State Mining University, Russian Federation*); J. Kicki (*AGH University of Science and Technology, The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Republic of Poland*), T. Majcherczyk (*AGH University of Science and Technology, Republic of Poland*); N. Neuberger (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); B. R. Rakishev (*Kazakh National Technical University after K. I. Satpaev, Republic of Kazakhstan*); H. Ramadan (*The University of Technology of Belfort-Montbéliard, France*); R. Singhal (*The University of Calgary, Canada*); A. Stovas (*The Norwegian University of Science and Technology, Kingdom of Norway*); J. Sturgul (*The University of Adelaide, Commonwealth of Australia*); A. Tajduś (*AGH University of Science and Technology, Republic of Poland*); J. Theliander (*University West, Kingdom of Sweden*); S. Forlicz (*Wrocław Higher Bank School, Republic of Poland*); W. T. Czarnetzki (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*); M. Schmidt (*The Brandenburg Technical University, Federal Republic of Germany*), G. Schmidt (*The Esslingen University of Applied Sciences, Federal Republic of Germany*)

The journal has been included in Scopus, Index Copernicus Journal Master List, ProQuest, EBSCOhost, Ulrichsweb Global Serials Directory, ResearchBib, abstract journal VINITI RAS (Russia).

Subscription for the journal can be done in post offices of the Ukraine (subscription index in Subscription Publication Catalogue is 89166) and in the subscription agencies Ukrinformnauka (index in Subscription Publication Catalogue is 10107) and Idea (index is 17736)

Makeup T. A. Klimenko. Proofreading M. T. Sysun.  
Passed for printing under recommendation of Academic Council of State Higher Educational Institution "National Mining University" (transaction No. 12 dated October 9, 2018).

Certified by Ministry of Justice of Ukraine. Registration number KB No.17742-6592PR dated April 27, 2011. Passed for printing October 22, 2018. Sheet size 60 × 90/8. Presswork 20. Offset paper. Number of copies printed 200. Order No. 1.

Founder and publisher National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro  
Certificate of Publisher ДК No.1842 dated June 11, 2004

Address of publisher and editorial office: 19, D. Yavornytskoho Ave., building 3, room 24a, Dnipro, 49005  
Tel.: (0562) 47 45 24, e-mail: nv.ngu@ukr.net, www.nvngu.in.ua; nv.nmu.org.ua

Production PP KF "Gerda". 60, D. Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49000.  
Certificate of Publisher ДК No.397 dated April 3, 2001