

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ  
ім. М.С. Полякова

# Геотехнічна механіка

МІЖВІДОМЧИЙ ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Головний редактор академік НАН України А.Ф. Булат

Збірник засновано в 1993 році

Випуск 160

Дніпро • 2022

Затверджено до друку Вченою Радою Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (протокол № 5 від 26.04.2022 року).

Редакційна колегія:

головний редактор –	академік НАН України	<i>А.Ф. Булат;</i>
заступники головного редактора –	чл.-кор. НАН України	<i>О.П. Круковський;</i>
відповідальний секретар –	д-р техн. наук	<i>В.Г. Шевченко.</i>

Члени редакційної колегії:

д-р геол. наук *В.А. Баранов*; д-р геол. наук *К.А. Безручко*; чл.-кор. НАН України *Б.О. Блюсс*; д-р техн. наук *Л.М. Васильєв*; д-р техн. наук *Є.С. Лапшин*; д-р техн. наук *С.П. Мінеєв*; д-р техн. наук *Т.А. Паламарчук*; д-р геол. наук *Л.І. Пимоненко*; д-р геол. наук *В.Ф. Приходченко* (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»); д-р техн. наук *Є.В. Семененко*; д-р техн. наук *С.І. Скіпочка*; д-р техн. наук *Г.О. Шевченко*.

Іноземні члени редакційної колегії:

проф. *Олексій Заїкін* (Університетський коледж Лондона, Велика Британія); д-р техн. наук *Л.С. Шамганова* (Інститут гірничої справи ім. Д.А. Кунаєва Національної академії наук Республіки Казахстан, Республіка Казахстан); проф. *Олена Шембел* (Enerize Corporation, Сполучені Штати Америки).

Редактор видання (Print)

канд. техн. наук *О.А. Бубнова*  
канд. техн. наук *Е.С. Ключев*  
канд. техн. наук *Ю.М. Радченко*  
канд. екон. наук *М.М. Жовтонога*  
бібл. 1 кат. *О.Г. Зайцева*  
пров. інж. *І.Б. Константинова*  
канд. техн. наук *Е.С. Ключев*

Редактор видання (Online)

У збірнику представлено результати наукових досліджень у галузі механіки машин, процесів переробки та використання мінеральної сировини, функціонування енергетичних комплексів, техніки та технологій розробки родовищ, механіки гірських порід, геології корисних копалин, охорони праці та навколишнього середовища.

Для наукових працівників, аспірантів та студентів старших курсів закладів вищої освіти.

Адреса веб-сторінки збірника: [www.geotm.dp.ua](http://www.geotm.dp.ua)

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE  
INSTITUTE OF GEOTECHNICAL MECHANICS  
NAMED BY N. POLJAKOV

# **Geo-Technical Mechanics**

INTERDEPARTMENTAL COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

Editor-in-Chief A.F. Bulat, Academician of the NAS of Ukraine

Established in 1993

Issue 160

Dnipro • 2022

The issue is approved for publication by the Scientific Council of the Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (record No. 5 dated 26.04.2022).

Editorial board:

editor-in chief - *A.F. Bulat*, Academician of the NAS of Ukraine

deputy editor-in-chief - *O.P. Krukovskiy*, Corresponding Member of the NAS of Ukraine

executive secretary - *V.G. Shevchenko*, Dr. Sci. (Engin.)

Members of the editorial board:

*V.A. Baranov*, Dr. Sci. (Geol.); *K. A. Bezruchko*, Dr. Sci. (Geol.); *B.O. Blyuss*, Corresponding Member of the NAS of Ukraine; *L.M. Vasyliiev*, Dr. Sci. (Engin.); *Ye.S. Lapshyn*, Dr. Sci. (Engin.); *S.P. Minieiev*, Dr. Sci. (Engin.); *T.A. Palamarchuk*, Dr. Sci. (Engin.); *L.I. Pymonenko*, Dr. Sci. (Engin.); *V.F. Prykhodchenko*, Dr. Sci. (Geol.); (National Technical University «Dnipro University of Technology»); *Ye.V. Semenenko*, Dr. Sci. (Engin.); *S.I. Skipochka*, Dr. Sci. (Engin.); *G.O. Shevchenko*, Dr. Sci. (Engin.)

Foreign members of the editorial board:

*L.S. Shamganova*, Corresponding Member of the NAS of RK (D.A. Kunayev Mining Institute of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan); *Prof. Elena Shembel* (Enerize Corporation, United States of America); *Prof. Alexey Zaikin* (University College London, The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland).

Managing editors (Print)

*O.A. Bubnova*, PhD (Engin.)

*E.S. Kliuiev*, PhD (Engin.)

*Yu.M. Radchenko*, PhD (Engin.)

*M.M. Zhovtonoha*, PhD (Econ.)

*O.H. Zaitseva*, librarian I

*I.B. Konstantynova*, leading engineer

Managing editors (Online)

*E.S. Kliuiev*, PhD (Engin.)

The collection presents the results of scientific researched in the field of mechanics of machines, processing and utilization of mineral raw materials, integrated power system performance, technologies and engineering of mineral resources development, rock mechanics, geology of mineral deposits, occupational safety and occupational health in mining, environmental protection.

For researchers, postgraduate students and senior students of higher-educational institutions.

Homepage: [www.geotm.dp.ua](http://www.geotm.dp.ua)

Національна академія наук України  
Інститут геотехнічної механіки  
ім. М.С. Полякова

## Геотехнічна механіка Geo-Technical Mechanics

Міжвідомчий збірник наукових праць

Випуск № 160  
DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2022.160>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серія КВ № 14083-3955Р від 27.02.2009 р.

Геотехнічна механіка. – Дніпро: Інтеграл, 2022. – 163 с.

Тираж 300 прим.

Комп'ютерна верстка *Радченко Ю.М.*

Адреса редакції та видавця: Редакція збірника наукових праць «Геотехнічна механіка»,  
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,  
вул. Сімферопольська, 2-а, м. Дніпро, 49005.  
E-mail: [gtm.igtm@gmail.com](mailto:gtm.igtm@gmail.com)

Підписано до друку 25.04.2022 р. Формат 84×108 1/16.  
Друк лазерний. Умов. друк. арк. 16,09. Облік.-видав. арк. 9,99.  
Накл. 300 прим.

Віддруковано: Приватне підприємство «Інтеграл»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
Серія АОО № 767897 від 17.11.2003 р.  
49000, м. Дніпро  
вул. Воскресенська, 41, к. 122