

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ
ім. М.С. Полякова НАН УКРАЇНИ



Т Е З И

XXII

**Міжнародної науково-технічної конференції
«ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ»**

Конференція присвячена

**103-й РІЧНИЦІ З ДНЯ НАРОДЖЕННЯ
АКАДЕМІКА НАН УКРАЇНИ В.М. ПОТУРАЄВА**

**ПАМ'ЯТІ ЙОГО УЧНІВ
ПРОФЕСОРА ФРАНЧУКА ВСЕВОЛОДА ПЕТРОВИЧА
ДОЦЕНТА ПЛОХОТНЮКА ЄВГЕНА ІВАНОВИЧА**

**14 лютого
Дніпро 2025**

УДК 622.232
ББК 34.42
П64

Електронний збірник містить тези доповідей, поданих на XXII щорічну науково-технічну конференцію «ПОТУРАЇВСЬКІ ЧИТАННЯ». Основна частина матеріалів відображує наукові напрями досліджень викладачів, аспірантів і студентів кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні НТУ «Дніпровська політехніка», а також співробітників Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

До тез увійшла робота школяра Іваненко І.В. (ліцей № 26, м. Нікополь) і ряд робіт студентів кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні, що виконані за матеріалами їх кваліфікаційних робіт.

Технічна обробка і комп'ютерний набір О.В. Анциферова

© Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», 2025

АПРОБАЦІЯ ОПП «ВІРТУАЛЬНИЙ ДИЗАЙН У МАШИНОБУДУВАННІ»: ОСВІТНЯ ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ГАЛУЗІ

Завідувачка кафедри ІДМБ, доцент Панченко О.В., професор кафедри
Заболотний К.С., доцент Шкут А.П., асистент Симоненко В.В.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні

Освітньо-професійна програма «Віртуальний дизайн у машинобудуванні» розроблена в межах спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» і спрямована на підготовку фахівців, які використовують передові цифрові технології для розробки та аналізу машинобудівних конструкцій.

Розвиток цифрових технологій у машинобудуванні є важливим напрямом сучасної інженерії. Віртуальне проектування зменшує витрати на фізичні прототиби та скорочує час розробки. Використання технологій Digital Twins дозволяє проводити випробування у цифровому середовищі ще до фізичного виготовлення, що значно підвищує ефективність проектування. Світові лідери, такі як Siemens, Autodesk, Dassault Systèmes, активно впроваджують цифрове моделювання у свої інженерні процеси, що підтверджує важливість цих технологій у сучасному машинобудуванні.

Сучасний ринок праці вимагає інженерів, які володіють 3D-моделюванням, віртуальним тестуванням та оптимізацією конструкцій. Промислові підприємства активно переходять на CAD/CAE-технології, що значно підвищує їх конкурентоспроможність і дозволяє ефективніше впроваджувати інноваційні рішення у виробництво.

Використання віртуального дизайну відіграє важливу роль у зменшенні впливу промисловості на навколишнє середовище, оскільки дозволяє значно скоротити витрати матеріалів та енергоресурсів ще на етапі проектування. Завдяки цифровому моделюванню можна передбачити поведінку конструкцій за різних умов експлуатації, що мінімізує потребу у фізичних прототипах та зменшує промислові відходи. Це особливо актуально в контексті розвитку зеленої економіки, де пріоритет надається енергоефективним технологіям і зменшенню впливу виробництва на довкілля.

Окрім того, нові конструкційні матеріали, такі як композити, наноматеріали та біополімери, потребують удосконалених методів аналізу, візуалізації та оптимізації. Вони мають значний потенціал для створення легких, міцних та довговічних конструкцій, які забезпечують підвищену енергоефективність та зниження викидів CO₂. Використання сучасних цифрових технологій у проектуванні

дозволяє адаптувати ці матеріали для конкретних умов експлуатації, що значно покращує характеристики кінцевих виробів.

Таким чином, впровадження екологічного та ресурсоефективного проектування є важливим етапом на шляху до сталого розвитку промисловості, підвищення конкурентоспроможності підприємств та зменшення негативного впливу виробництва на довкілля.

Програма «Віртуальний дизайн у машинобудуванні» інтегрує традиційне машинобудування з новітніми цифровими технологіями, що відкриває нові можливості для розробки та оптимізації конструкцій. Використання віртуального проектування дозволяє студентам не лише вивчати класичні методи інженерного аналізу, а й застосовувати сучасні підходи, що значно підвищує якість розробки та ефективність виробництва.

Одним із ключових аспектів програми є впровадження 3D-моделювання, симуляції, VR (віртуальної реальності) та AR (доповненої реальності), що забезпечує можливість створення детальних цифрових двійників конструкцій. Це дозволяє майбутнім фахівцям тестувати їхню роботу ще на етапі проектування, аналізувати поведінку виробів у реальних умовах та оптимізувати їхні характеристики без необхідності створення дорогих фізичних прототипів.

Окрім того, програма орієнтована на дослідження та використання новітніх матеріалів, зокрема композитних матеріалів, наноматеріалів та інноваційних полімерів, що забезпечують підвищену міцність і зменшення ваги конструкцій. Одним із ключових елементів цієї роботи є використання штучного інтелекту (AI) для оптимізації форм та прогнозування поведінки матеріалів під навантаженнями. Генетичні алгоритми та методи машинного навчання дозволяють знаходити найкращі параметри конструкцій, що забезпечує їх міцність, довговічність та економічну доцільність.

Ще одним важливим елементом наукової новизни є синергія механіки та ІТ-технологій, що включає впровадження штучного інтелекту у процес проектування, а також використання хмарних платформ для колективної роботи. Це дає можливість інженерам працювати над одним проектом у режимі реального часу, забезпечуючи високу швидкість обміну даними, інтеграцію результатів симуляцій та доступ до глобальних ресурсів.

Таким чином, наукова новизна програми полягає у впровадженні цифрових технологій у машинобудівний інжиніринг, що дозволяє створювати інноваційні конструкції з підвищеними експлуатаційними характеристиками, скорочувати витрати на виробництво та підвищувати якість кінцевих виробів. Це формує нове покоління інженерів, які володіють сучасними інструментами проектування та готові працювати в умовах Індустрії 4.0 та цифрового виробництва.

Освітня програма включає три ключові компоненти. Загальна підготовка передбачає вивчення професійної іноземної мови, що забезпечує можливість роботи у міжнародних проєктах та співпраці з закордонними партнерами. Фахові дисципліни охоплюють роботу з CAD/CAE-системами, інженерний аналіз, технології 3D-друку та дослідження композитних матеріалів, що є основою сучасного машинобудування. Практична підготовка спрямована на стажування студентів на підприємствах та виконання реальних інженерних завдань, що дозволяє застосовувати отримані знання на практиці та здобути необхідний досвід для майбутньої професійної діяльності.

Для підвищення ефективності освітньої програми запропоновано кілька ключових напрямків удосконалення. Розширення дисциплін передбачає впровадження курсів зі штучного інтелекту у машинобудуванні, симуляційних технологій та робототехніки, що дозволить студентам опановувати сучасні цифрові методи аналізу та проектування. Розвиток міжнародних зв'язків спрямований на створення спільних програм із європейськими університетами та організацію стажувань за кордоном, що сприятиме підготовці фахівців із глобальним баченням інженерних процесів. Посилення практичної складової включає реалізацію реальних індустріальних проєктів у співпраці з підприємствами, що забезпечить студентам безцінний досвід роботи з виробничими завданнями та сприятиме їх швидкій адаптації до умов сучасної промисловості.

Освітня програма «Віртуальний дизайн у машинобудуванні» повністю відповідає сучасним викликам Індустрії 4.0 та швидкому розвитку цифрових технологій у промисловості. Вона орієнтована на підготовку висококваліфікованих фахівців, які володіють інструментами 3D-моделювання, комп'ютерного аналізу, віртуального тестування та оптимізації конструкцій. Завдяки цьому випускники програми отримують навички, які дозволяють їм ефективно працювати у сферах машинобудування, ІТ, промислового дизайну та цифрового інжинірингу, забезпечуючи конкурентоспроможність на ринку праці.

Крім того, сучасні виробничі процеси вимагають впровадження інноваційних підходів, таких як цифрові двійники, адитивні технології, штучний інтелект та автоматизоване проектування, що передбачено у програмі. Завдяки інтеграції цих технологій випускники зможуть працювати не лише в традиційному машинобудуванні, а й у галузях автомобілебудування, аерокосмічної промисловості, робототехніки та автоматизованих виробничих систем.

Таким чином, освітня програма «Віртуальний дизайн у машинобудуванні» формує інженерів нового покоління, здатних вирішувати складні технічні завдання за допомогою сучасних цифрових технологій. Це відкриває перед ними широкі можливості для професійної реалізації, міжнародної співпраці та кар'єрного зростання у високотехнологічних галузях.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМУ МАНІПУЛЯТОРА ТЮБІНГОУКЛАДАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ В SOLIDWORKS

Доцент Панченко О.В., професор Заболотний К.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Зважаючи на широке застосування сучасних програмних комплексів у дослідженнях, виникла необхідність у розробці методики комп'ютерного аналізу механізмів, що дозволить підвищити ефективність використання та модернізацію технічних рішень. Наразі значні зусилля спрямовані на вдосконалення конструкцій тюбінгоукладачів [1 – 3], які мають високу металоємність і значні вимоги до потужності приводів. Це зумовлено відсутністю науково обґрунтованої методики визначення оптимальних параметрів таких механізмів. У роботі запропоновано метод комп'ютерного аналізу напружено-деформованого стану механізму маніпулятора, що базується на використанні скінченно-елементного підходу. Для його реалізації застосовано комплекс програмних інструментів, що дозволяють проводити детальні розрахунки й моделювання.

Тюбінгоукладачі важливі для будівництва тунелів, де встановлюються тюбінги або залізобетонні блоки. Вони забезпечують утримання тюбінгів під час монтажу, а також витримують динамічні навантаження при роботі. Для зменшення впливу вибухових робіт у тунелях тюбінгоукладачі тимчасово відводять від вибою, після чого здійснюють монтаж конструктивних елементів. Процес укладання тюбінгів вимагає високої точності, тому маніпулятор укладача повинен мати кілька ступенів свободи, що дозволяє керувати переміщенням тюбінгів у трьох вимірах.

Методика комп'ютерного аналізу. Для аналізу напружено-деформованого стану механізму маніпулятора використовується програмний комплекс SolidWorks. Моделювання виконується у два основних етапи:

1. Розрахунок кінематики руху маніпулятора з урахуванням гравітаційних та інерційних сил за допомогою модуля SolidWorks Motion.
2. Аналіз напружено-деформованого стану деталей механізму методом скінченних елементів у модулі SolidWorks Simulation.

Комп'ютерна модель містить такі основні елементи: гідромотор 1, кривошип 2, шатун 3, ланка керування 4 з вантажозахоплювачем, що виконує функцію встановлення тюбінгів 5 у тунелі виробки, силові гідроциліндри 6 (рис. 1).

З'єднання між деталями реалізовані за допомогою обертальних кінематичних пар. Використовується команда «Mate» у режимі «Mechanical Mates» для відтворення реальних умов роботи механізму. Після імпорту моделі в SolidWorks Motion усі з'єднання автоматично конвертуються в елементарні.



Рис. 1

При розрахунку враховується траєкторія руху тубінгів, що складається з кількох дискретних моментів часу. За допомогою команди «Calculate Simulation Results» аналізується вплив сил на елементи конструкції. Визначені значення напружень використовуються для побудови графіків залежності напружень від часу роботи маніпулятора (рис. 2).

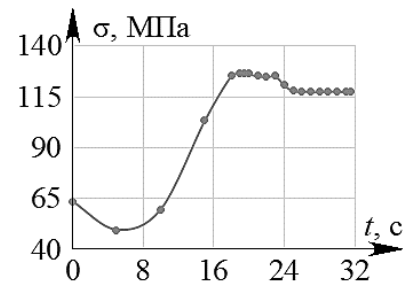


Рис. 2

Підходи до аналізу. Перший підхід – використання SolidWorks Motion для розрахунку сил інерції та подальшого аналізу напружень у деталях [4]. Метод дозволяє швидко визначати критичні навантаження, але не забезпечує точного контролю над розміром скінченно-елементної сітки.

Другий підхід – застосування SolidWorks Simulation для аналізу напружень під статичним навантаженням [5]. Метод дозволяє детально дослідити напружено-деформований стан, але не враховує динамічні ефекти.

Третій підхід – комбіноване використання SolidWorks Motion і SolidWorks Simulation. Спочатку розраховуються сили інерції, після чого результати імпортуються в SolidWorks Simulation для точного аналізу напружень. Цей метод забезпечує найбільш коректні результати.

Висновки. Розроблений метод комп'ютерного аналізу дозволяє: оптимізувати параметри механізму маніпулятора тубінгоукладача; врахувати інерційні та статичні навантаження; скоротити металоємність конструкції за рахунок оптимізації розмірів деталей. Застосування скінченно-елементного аналізу в SolidWorks дає змогу виявити потенційні слабкі місця конструкції та підвищити її надійність у реальних умовах експлуатації. Отримані результати можуть бути використані для подальшої модернізації тубінгоукладачів та інших механізмів, що працюють у складних умовах.

Література

- 1 Zabolotny, K., Sirchenko, A., Zhupiev, O. (2015). The development of idea of tunnel unit design with the use of morphological analysis. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 175–179. https://www.researchgate.net/publication/327964463_The_development_of_idea_of_tunnel_unit_design_with_the_use_of_morphological_analysis
2. Zabolotnyi, K., Zhupiiiev, O., Panchenko, O., Tipikin, A. (2020). Development of the concept of recurrent metamodeling to create projects of promising designs of mining machines. *E3S Web of Conferences*, 2020, 201, 01019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101019>
3. Zabolotnyi, K., Panchenko, O., Zhupiiiev, O. (2022). Modelling of Stress-Strain State of The One Leaver Tunnel Erector. *Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources: Book of Abstracts 5 th International Scientific and Technical Internet Conference*, Petroșani, Romania, pp. 230-232. https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2022_Book_of_Abstracts.pdf
4. Panchenko, O. (2023). Assessing the accuracy of modeling the tubbing erector manipulator mechanism in SOLIDWORKS MOTION program. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023, (3), 75-80. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/075>.
5. Panchenko, O. (2023). Substantiating a method for computer analysis of the stress-strain state of the tubbing erector manipulator mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023, (4), 75-80. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/062>.

ГЕОТЕХНІЧНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕРОБКИ ТЕХНОГЕННИХ ПОКЛАДІВ ТЕС: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ТЕС ТА КРАМАТОРСЬКОЇ ТЕЦ

Директор Булат А.Ф., зав. відділу Шевченко Г.О., с.н.с. Чолишкіна В.В.,
м.н.с. Курілов В.С. пр. інж. Кашинський Є.П.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Мета досліджень – аналіз геотехнічних способів переробки техногенних покладів золи. Дослідження було виконано в рамках режимних спостережень на етапі експлуатації золосховищ Придніпровської ТЕС і Краматорської ТЕЦ. Дослідження золи з золосховища «Західна балка» Придніпровської ТЕС було проведено за сіткою відбору проб вздовж і поперек секції. Також відібрані проби сухої золи з бункерів електрофільтрів. Схема відбору проб золовідвалу "Західна балка" Придніпровської ТЕС представлено на рис 1.

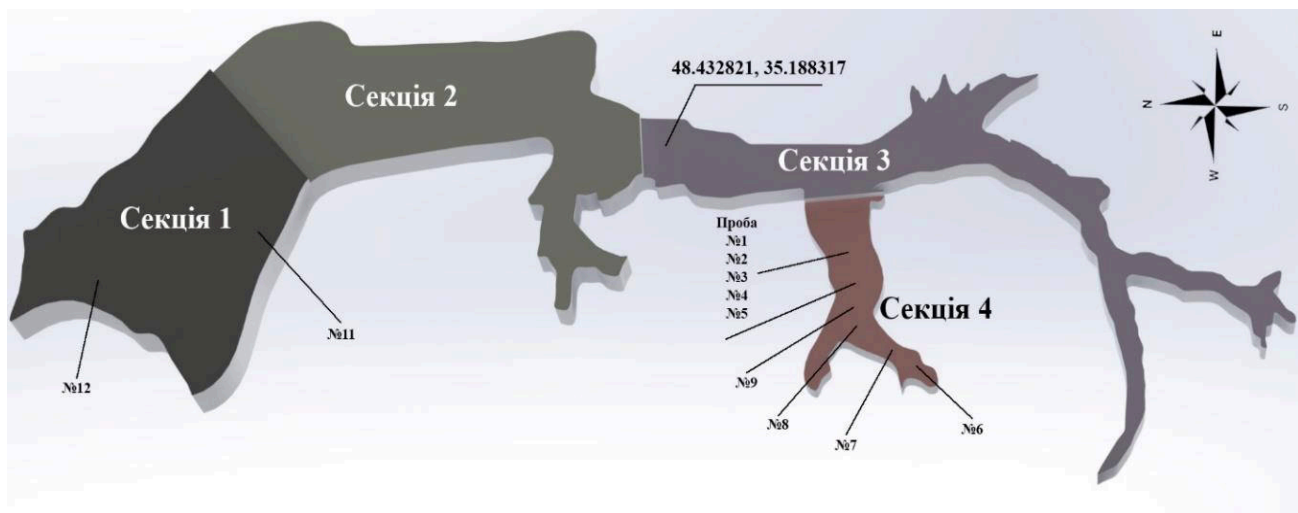


Рис. 1

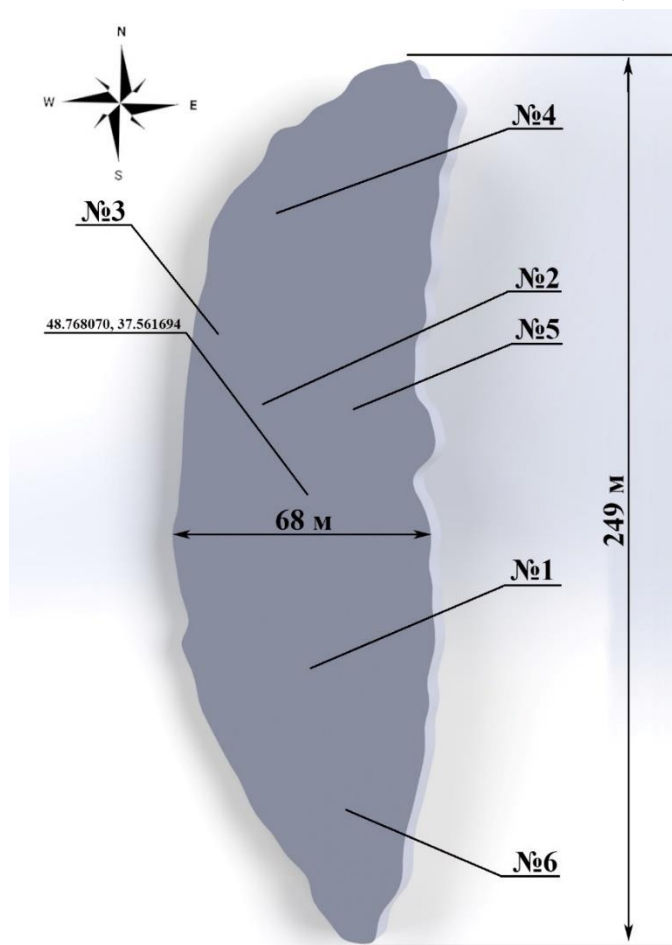
Встановлено дещо більшу крупність сухої золи порівняно з лежалою. При збільшенні глибини відбору проб відсоток вуглевмісної фракції зменшується. Встановлена тенденція до зниження вмісту вугілля в тонких класах крупності [1-2].

Зроблено висновок про перспективність сухого грохочення поточної золи, при переробці лежалої золи слід враховувати що її вологість може досягати 45 - 50%.

Аналогічні дослідження були проведені для золи Краматорської ТЕЦ. Розташування точок відбору проб представлено із золосховища Краматорської ТЕЦ на рис. 2. Вони підтвердили раніше виявлені особливості, що суха зола крупніша за лежалу, вугілля більшою мірою сконцентроване в крупних класах +50 (+40) мкм і його вміст закономірно зменшується при зменшенні крупності.

Дослідження сухої класифікації золи виконувалась на полічастотному віброударному грохоті МВГ, розробки ІГТМ по класах 50 і 40 мкм [3-4].

Встановлено, для добової золи Придніпровської ТЕС вихід класів – 40 мкм становить близько 40% а вміст в них вугілля близько 5%. Це вдовольняє вимоги



Держстандарту для використання в будівництві. Таким чином підрешітний продукт може виводитись з процесу переробки як новий окремий цільовий продукт.

Для золи Краматорської ТЕЦ такої картини не спостерігається, тонкі класи -40(50) мкм містять до 15% вугілля, їх треба доробляти.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування сухого грохочення для переробки поточної золи ТЕС, а при роботі з лежалою золою слід враховувати її високу вологість (до 45–50 %), що впливає на ефективність сепарації.

Геотехнічні підходи до переробки техногенних покладів ТЕС з урахуванням фізико-механічних властивостей лежалої та сухої золи дозволили аргументовано підійти до розробки ефективних способів їх переробки.

Рис. 2

Література.

1. Granulometric composition of thermal power plant waste / Shevchenko G.O., Cholyshkina V.V., Sukharyev V.V., Kurilov V.S., Lebed H.B. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр. / ІГТМ НАН України. – Дніпро, 2023. – Вип. 165 – С. 72–84.
2. Processing of fly ash from thermal power plants by means of mechanical classification by size / Shevchenko G.O., Cholyshkina V.V., Sukharyev V.V., Kurilov V.S. // Geo-Technical Mechanics, 2022, № 160, p.133-140 -[Електронний ресурс].- URL:<https://doi.org/10.15407/geotm2022.160.133>.
3. Шевченко, Г.А. Вибрационные грохоты с поличастотными колебаниями просеивающих поверхностей для тонкого разделения / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.А. Бобылёв // Уголь Украины. – 2013. – №2 (674). – С. 23-27.
4. Шевченко, Г.А. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.Р. Кадыров // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – Вип. 38 (79). – С. 44-50.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА В БАГАТОШАРОВОМУ НАМОТУВАННІ В ПРОГРАМІ SOLIDWORKS SIMULATION

Аспірант Ковірев М.В., професор Заболотний К.С., доцент Панченко О.В.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Актуальність застосування гумотросової стрічки (РГС, РТК) як тягового елемента підтверджена в дослідженнях професорів Бельмаса І.В. [1], Колосова Д.Л. [2] і Заболотного К.С. [3, 4]. З метою розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору проєктних параметрів бобінного органа намотування підйомних машин із гумотросовими канатами було проведено дослідження характеристик жорсткості шарів РТК у багатошаровому намотуванні.

Для визначення пружних властивостей були введені безрозмірні інтегральні характеристики: коефіцієнти поздовжньої та поперечної жорсткості, а також коефіцієнт розширення шару пакета ГТС $B_{mp} = \pi E_{mp1} / 4 E_c t_o h_o$, $B = B_2 h / m t E_c$, $K_{розш} = u_3 / u_2$, де E_c, ν_c – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона гуми; $E_{mp1}, E_{mp2}, \nu_{mp1}, \nu_{mp2}$ – модулі пружності та коефіцієнти Пуассона тросів у напрямках; $t_o = t/d$, $h_o = h/d$; P – тиск на шар пакету ГТК; u_x – горизонтальне середнє подовження шару наведеного пакета; u_y – вертикальне середнє стиснення шару.

Прийнявши таке допущення, коефіцієнти поперечної жорсткості й розширення шару пакета ГТС представили у вигляді добутку двох коефіцієнтів $B = B_n f_n$, $K_{розш} = k_{розш} w_n$, тут $B_n, k_{розш}$ – відповідно коефіцієнти поперечної жорсткості та розширення шару пакета, що враховує тільки геометрію конструкції та фізико-механічні властивості компонентів; f_n, w_n – коефіцієнти обмеженості шару ГТС у поперечному напрямі, що врахували крайовий ефект під час контакту ГТС із поверхнею органа намотування.

Аналіз проводився за допомогою програмного забезпечення SolidWorks Simulation [5, 6]. Встановлені граничні умови: на лівому краї прямокутної області застосована умова симетрії, на нижньому краї заборонено вертикальні переміщення, а на верхньому – задане переміщення. Для врахування крайового ефекту контакту з поверхнею органа намотування було накладено обмеження на горизонтальні й вертикальні переміщення нижньої межі шару ГТС. Для забезпечення високої точності обчислень і водночас оптимізації розмірів моделі були визначені такі параметри: максимальний крок скінченно-елементної сітки – 1 мм, мінімальна кількість тросів у шарі – 8, мінімальна кількість шарів у пакеті – 1. У ході перевірки точності обчислень встановлено, що похибка не перевищує 3 %.

Відповідно до припущення розділили задачу на два етапи:

1) Визначення $B_n, k_{розш}$. У чисельному експерименті варіювалися геометричні параметри ГТС. Після опрацювання показано, що за відсутності обмеженості слабо залежить від геометричних параметрів каната і приймається рівним 0,993 з точністю до 1 %, а для визначення коефіцієнтів поперечної жорсткості пакета ГТС отримано апроксимуючий поліном.

2) Визначення f_n , w_n . У чисельному експерименті змінювали кількість шарів стрічки в пакеті та визначали коефіцієнти поперечної жорсткості й розширення кожного шару пакета ГТС. У результаті опрацювання експерименту отримано матриці $f_{i,j}$ і $w_{i,j}$, а також їхні апроксимувальні функції. З урахуванням цих значень остаточно отримано вирази для коефіцієнтів поперечної жорсткості та розширення i -го шару ГТС у поперечному напрямку пакета із загальною кількістю шарів j :

$$B = (s_1 + s_2 \eta + s_3 \tau + s_4 \eta^2 + s_5 \eta \tau + s_6 \tau^2) \left(1 + k_1 k_2^{-(i-1)^{k_3}} (1 - k_4^{i-j}) + k_5 k_6^{-(i-1)^{k_7}} k_4^{i-j} \right),$$

$$K_{\text{розш}} = 0,993 \left(1 + \kappa_1 \kappa_2^{-(i-1)^{k_3}} (1 - \kappa_4^{i-j}) + \kappa_5 \kappa_6^{-(i-1)^{k_7}} \kappa_4^{i-j} \right).$$

Тут $\eta = 1/(h_0 - 1)$; $\tau = 1/(t_0 - 1)$; $\{s\}$, $\{k\}$, $\{\kappa\}$ – вектори невідомих, встановлені методом найменших квадратів.

Для оцінки достовірності отриманих результатів було порівняно значення коефіцієнтів поперечної жорсткості та розширення шару в пакеті ГТС із аналогічними параметрами, отриманими експериментальним шляхом. Чисельний експеримент проведено для моделей із 30 шарами пакета, зокрема для матеріалів ГТС-2500, ГТС-5000 і ГТС-6000. Похибка розрахунків при визначенні коефіцієнтів поперечної жорсткості та розширення не перевищила 6 %, а порівняно з фізичним експериментом – 15 %.

Висновки. Проведені дослідження показали, що для пакета ГТС основним розрахунковим випадком є плоска деформація. Коефіцієнт поперечної жорсткості шару пакета B_n можна визначити за допомогою апроксимувального полінома, що враховує пружні властивості матеріалу. У випадку відсутності обмежень значення коефіцієнта практично не залежить від геометричних параметрів стрічки та може прийматися рівним 0,993 із точністю до 1 %. Похибка визначення коефіцієнта поперечної жорсткості не перевищує 6 % у чисельному експерименті та 15 % – у фізичному.

Література

1. Kolosov D., Dolgov O., Kolosov A. (2013). The stress-strain state of the belt on a drum under compression by flat plates. *Annual Scientific-Technical Collection. Mining of Mineral Deposits*. №1. P. 351–357.
2. Belmas I., Kolosov D. (2011). The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. *Technical and Geoinformational Systems in Mining*. P. 211–214.
3. Zabolotnyi K.S., Panchenko O.V., Zhupiiiev O.L., Polushyna M.V. (2018). Influence of parameters of a rubber-rope cable on the torsional stiffness of the body of the winding. *Науковий вісник національного гірничого університету*. № 5. P. 54–63.
4. Zabolotny K., Panchenko E. (2010). Definition of rating loading in spires of multilayer winding of rubberrope cable. *New Techniques and Technologies in Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*. P. 223–229.
5. К.С. Заболотний, О.В. Панченко, М.В. Полушина, М.В. Ковирев. Аналіз крутильних властивостей гумотросового каната при багатошаровому намотуванні на основі експериментальних даних. Збірник наукових праць НГУ. 2024, № 77, 230–238.
6. Kovyrev M., Zabolotny K., Panchenko O., Kukhar V. Development of a model of rubber rope in multilayer winding as a composite material. Математичне моделювання. Науковий журнал. №1 (50), 2024, 64-76.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В КУЛЬОВОМУ МЛИНІ З ВІБРОУДАРНИМ ПОЛІЧАСТОТНИМ ПРИВОДОМ

Д.т.н., проф. Шевченко В.Г., д.т.н., с.н.с. Шевченко Г.О., к.т.н. Сухарєв В.В.,
к.т.н., доцент Титов О.О., аспірант Самодрига О.А.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Тонке подрібнення мінеральної сировини є важливим технологічним процесом від якого в значній мірі залежить ефективність подальшої її переробки. Вібраційне подрібнення є одним з способів тонкого подрібнення, який здійснюється на вібраційних млинах за рахунок тертя між частками, подрібнювальними тілами і поверхнею камери подрібнення та ударної взаємодії між ними. Ефективність вібраційного подрібнення можливо суттєво підняти при збільшенні частки ударного руйнування часток мінеральної сировини над руйнуванням тертям. Таке можливо здійснити при віброударному полічастотному збудженні камери подрібнення млина з технологічним середовищем. В ІГТМ НАН України створені резонансні віброударні полічастотні приводи, які дозволяють здійснювати в основному ударні руйнування часток мінеральної сировини в камері подрібнення з прискореннями від сотен до тисяч м/с^2 [1, 2]. Використання віброударного полічастотного приводу в конструкції кульового млина дає можливість змінювати динамічні параметри подрібнення, регулюючи інтенсивність впливу на матеріал, що, у свою чергу, дозволяє досягти більш ефективного подрібнення часток матеріалу при меншій витраті енергії.

Метою дослідження було встановлення закономірностей впливу основних параметрів роботи віброударного кульового млина на процес подрібнення матеріалів та визначення оптимальних режимів роботи обладнання. Для цього були досліджені вплив часу подрібнення, тип вихідного матеріалу, початкова крупність часток, розмір подрібнювальних кульок, а також відсоток заповнення камери млина матеріалом і кульками. Експерименти проводилися з трьома видами матеріалів – ільменітом, базальтом і піском, які мають різні фізико-механічні властивості та відрізняються за твердістю і структурою. Для кожного типу матеріалу було визначено оптимальний режим подрібнення, що забезпечує мінімальний розмір часток при раціональному використанні енергії. Особливу увагу було приділено зміні прискорення камери млина, яке є ключовим параметром віброударного полічастотного приводу і в цих дослідках встановлювалось в межах від 400 до 1000 м/с^2 .

Результати досліджень показали, що оптимальне поєднання часу подрібнення, вихідної крупності матеріалу, розміру подрібнювальних кульок дозволяє суттєво підвищити ефективність подрібнення і при незначних, у порівнянні з типовим обладнанням, витратах енергії, отримати за 10 хвилин подрібнення частки матеріалу розміром менше 90 мкм при ступені подрібнення більше 5. Найбільш значний вплив, у зіставленні з іншими параметрами, на характеристики кінцевого продукту, має величина прискорення камери млина, яку можливо регулювати в широких межах за допомогою розробленому в ІГТМ віброударного приводу.

Література.

1. Шевченко, Г.А. Исследования режимов колебаний виброударного осцилятора / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ишук // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Вібрації в техніці та технологіях". – 2012. – №1 (65). – С. 56-59
2. Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И., Пилов П.И., Кириченко В.В. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2007. - 296с.

АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

Професор Франчук В.П., доцент Анциферов О.В., аспірант Гавриленко С.С.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Для перевантаження скельних порід ефективним є вібраційний колосниковий грохот-перевантажувач з інерційним або ексцентриковим приводом. Ми досліджуємо грохот з трьома колосниками та ексцентриковим приводом (рис. 1). Фаза коливань крайніх колосників зміщені на 180° відносно середнього, що забезпечує їх протифазний рух. За рівності мас, моментів інерції та жорсткості пружних зв'язків парного (середнього) і непарних (крайніх) колосників динамічні навантаження врівноважуються і не передаються на основу.

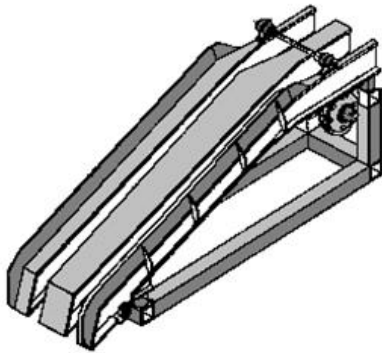


Рис. 1

На першому етапі дослідження побудуємо амплітудно-частотну характеристику грохота. Використовуємо рівняння Лагранжа другого роду. Вирази для кінетичної і потенційної енергій даної системи, побудова рівнянь руху вдовж осі x і наступні перетворення наведені в [1].

Динамічна розрахункова схема зображена на рис. 2. Тут зазначено:

$m_1 = m_3, m_2$ – маси лівого, правого і середнього колосників;

$I_1 = I_3, I_2$ – моменти інерції лівого, правого і середнього колосників;

$C_{ГЗ\ 1,2,3}, C_{ВЗ\ 1,2,3}$ – жорсткості пружних амортизаторів в горизонтальному і вертикальному напрямках в задній частині відповідних колосників;

$C_{ГП\ 1,2,3}, C_{ВП\ 1,2,3}$ – те ж для передніх частин відповідних колосників;

L_3, L_{II} – відстань від осі приводу до осі задніх і передніх амортизаторів;

$L_{цв}$ – відстань від осі приводу до центрів ваги колосників;

x_0, ϕ_0 – лінійні і поворотні переміщення осі приводу в площині x ;

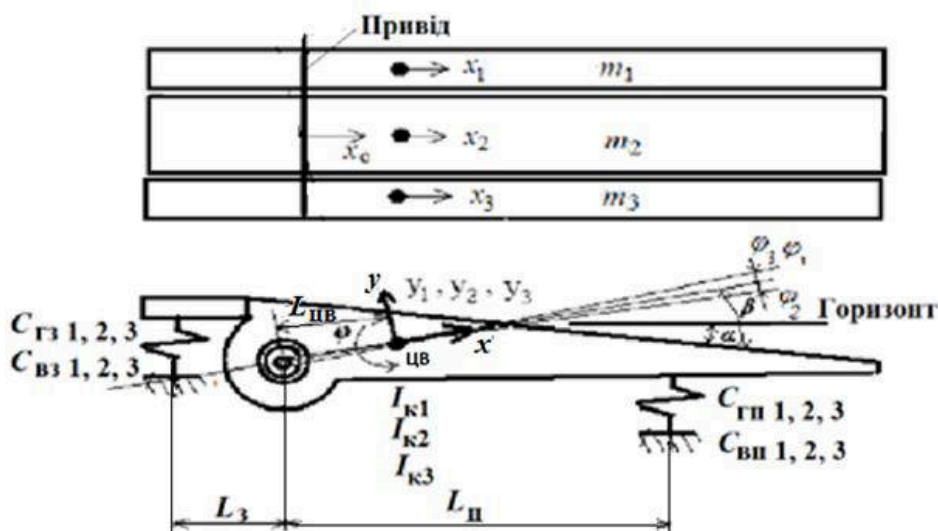


Рис. 2

y_0, φ_0 – лінійні і поворотні переміщення осі привода в площині y ;
 $x_1 = x_3, x_2, y_1 = y_3, y_2$ – лінійні переміщення центрів ваги колосників;
 $\varphi_1 = \varphi_3, \varphi_2$ – кутові переміщення колосників навколо центру ваги.

Між колосниками мається кінематичний зв'язок по осі привода. Звідси отримуємо залежності x_1, x_2, y_1 і y_2 від x_0, ϕ_0 і y_0, φ_0 відповідно.

Диференціальне рівняння коливань колосників вдовж осі x має вид

$$\begin{aligned} & 2m_1\ddot{x}_0 + m_2\ddot{x}_0 + 2m_1r\omega^2 \sin \omega t - m_2r\omega^2 \sin \omega t + \\ & + 2C_{r1}x_0 + C_{r2}x_0 - 2C_{r1}r \sin \omega t + C_{r2}r \sin \omega t + (1) \\ & + (2m_1 + m_2)\ddot{x}_0 + (2C_{r1} + C_{r2})x_0 + 2m_1r\omega^2 \sin \omega t - m_2r\omega^2 \sin \omega t = 0. \end{aligned}$$

Даний вираз отримано з рівняння Лагранжа за умови, що $D = 0$ і $Q_i = 0$.

Маємо також дві координати кутових коливань колосників φ_1 і φ_2 , що увійдуть у рівняння для координати y_0 . Для знаходження функцій від часу узагальнених координат q_i : $y_0, \varphi_0, \varphi_1$ і φ_2 . Аналогічно отримаємо ще систему з чотирьох диференціальних рівнянь. Розв'язок системи шукаємо методом невизначених коефіцієнтів, для чого приймаємо часткові розв'язки у вигляді

$$q_i = A_i \cos \omega t + B_i \sin \omega t. \quad (2)$$

Тут A і B – невизначені коефіцієнти, що відповідають амплітудним складовим переміщень за гармоніками.

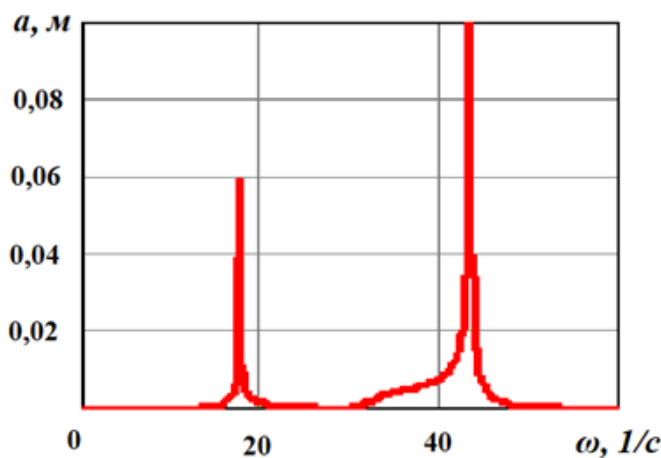


Рис. 3

Після підстановки (2) в систему з чотирьох диференціальних рівнянь і користуючись методом гармонійного балансу отримаємо систему з восьми алгебраїчних рівнянь з вісьмома невідомими. Звідси знаходимо коефіцієнти A_i і B_i .

Амплітуди коливань за кожною з узагальнених координат q_i

$$a_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}. \quad (3)$$

За формулою (3) побудована амплітудно-частотна характеристика грохота вдовж осі y . Вона зображена на рис. 3.

Література

1. Франчук В.П. Вібраційний грохот-перевантажувач з ексцентриковим приводом / В.П. Франчук, О.В. Анциферов, С.С. Гавриленко // Стан, проблеми та перспективи розвитку науки, освіти, технологій і суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Кременчук, 20 грудня 2024 р.). Кременчук: ЦФЕНД, 2024. – С. 63-64.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНИХ ВІТЧИЗНЯНИХ ВАГОНОПЕРЕКИДАЧІВ ПАТ «ДНІПРОВАЖМАШ»

Аспірант Никитюк М.В., доцент Панченко О.В., професор Заболотний К.С.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Вагоноперекидачі використовуються для розвантаження різноманітних сипучих матеріалів, які надходять на склади металургійних підприємств. Ці механізми поєднують в собі функції прийому, розвантаження та очищення вагонів, що забезпечує їх високу продуктивність. На металургійних заводах зустрічаються різні типи вагоноперекидачів: пересувні, стаціонарні та спеціалізовані.

Мета дослідження полягає в аналізі ефективності існуючих конструкцій вагоноперекидачів для розвантаження сипучих та крупнокускових матеріалів, а також у виборі оптимального варіанту для використання в умовах вітчизняних металургійних підприємств.

Роторні вагоноперекидачі (рис. 1) складаються з: 1 – привальної стінки; 2 – гальмівного механізму; 3 – ротора; 4 – платформи; 5 – роликової опори; 6 – електроприводу повороту ротора; 7 – струмопідведення; 8 – гаків з вібраційною системою. Існує кілька модифікацій цього типу вагоноперекидачів, продуктивність яких варіюється від 20 до 50 піввагонів за годину, а вантажопідйомність – від 100 до 200 тонн. Розміри цих машин залежать від їх продуктивності. Роторні стаціонарні вагоноперекидачі використовуються для розвантаження сипучих матеріалів шляхом обертання ротора. Переваги роторних вагоноперекидачів:

- надійна фіксація вагонів під час обертання за допомогою гальмівних пристроїв;
- вібраційна система для очищення піввагонів після розвантаження;
- можливість регулювання швидкості обертання ротора для збільшення терміну служби механізмів;
- можливість розвантаження крупнокускових та замерзлих матеріалів;
- централізована система змащення;
- можливість встановлення електронних ваг (в деяких моделях).

Здвоєні роторні вагоноперекидачі (рис. 2) здатні розвантажувати як сипучі, так і крупнокускові матеріали одночасно з кількох піввагонів. Переваги здвоєних роторних вагоноперекидачів:

- модифікована система очищення вагонів;

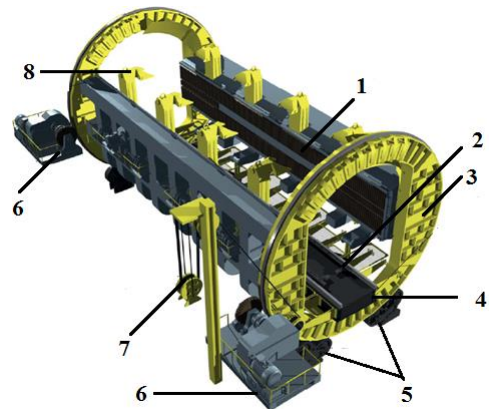


Рис. 1

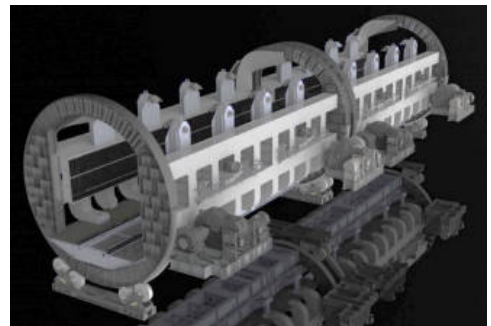


Рис. 2

- система обігріву гаків для роботи в умовах низьких температур;
- вібраційна система для очищення піввагонів;
- можливість розвантаження замерзлих матеріалів.

Бічні стаціонарні вагоноперекидачі (рис. 3) використовуються для розвантаження сипучих вантажів, особливо в місцевості з високим рівнем ґрунтових вод. Конструктивні особливості: 1 – електропривід повороту рами; 2 – опора з вібраційною системою; 3 – контрвантаж; 4 – рама; 5 – гальмівний пристрій; 6 – платформа; 7 – привальна стінка.

Переваги бічних стаціонарних вагоноперекидачів:

- централізована система змащення;
- можливість позиціонування з піввагоном;
- надійна фіксація вагонів під час обертання;
- можливість розвантаження замерзлих матеріалів.

Бічні пересувні вагоноперекидачі (рис. 4) призначені для розвантаження сипучих та крупнокускових матеріалів з піввагонів вантажопідйомністю до 75 т. Використовуються на коксохімічних виробництвах та рудних дворах. Переваги бічних пересувних вагоноперекидачів:

- мобільність;
- висока продуктивність;
- низьке енергоспоживання.

Висновки. Аналіз показав значний потенціал підвищення продуктивності та довговічності металургійних підприємств завдяки використанню модернізованих вагоноперекидачів. Роторні стаціонарні моделі відрізняються стабільністю та продуктивністю завдяки регульованій швидкості обертання та гальмівній системі. Здвоєні роторні вагоноперекидачі ефективні у складних умовах експлуатації, особливо для розвантаження замерзлих матеріалів. Бічні пересувні вагоноперекидачі мають високу мобільність та низьке енергоспоживання, що робить їх цінними для коксохімічних та рудних комбінатів. Вибір конкретного типу вагоноперекидача залежить від умов його використання для мінімізації витрат та максимізації продуктивності.

Література

1. Промисловий транспорт. Переробна спроможність вантажних фронтів: приклади та задачі : навчальний посібник / М. І. Березовий, І. Я. Сковрон, С. В. Боричева, В. В. Малашкін // Український державний університет науки і технологій – Дніпро, 2023. – 135 с.
2. Bulk materials handling equipment (n.d.). Retrieved February 10, 2025, from <https://www.dts.dp.ua/en/factories/dnieprotiazhmash/products/transportno-razghruzochnoie-oborudovaniie/roturnyi-statsionarnyi-vrs-75s-vrs-120s>.

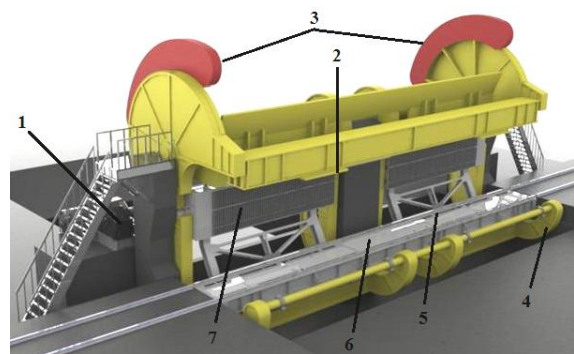


Рис. 3



Рис. 4

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГНІТАННЯ РІДКОГО ПОЛІМЕРУ В ТРІЩИНУВАТИЙ МАСИВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІН'ЄКЦІЙНИХ АНКЕРІВ

Докт. техн. наук Круковська В.В., докт. техн. наук Круковський О.П.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Проведення гірничих виробок по тріщинуватим, нестійким гірським породам є серйозною проблемою, одним із рішень якої є застосування ін'єкційних анкерів. Вони представляють собою металеву трубку з герметизатором для подачі в масив двокомпонентного рідкого полімеру, який при цьому спінюється і збільшується в об'ємі у 1,5-3,5 рази. Після застигання полімеру в масиві формується зміцнена, газо- та водонепроникна область [1, 2]. Однак її формування залежить від проникності порід навколо ін'єкційного анкера, яка визначається початковим станом породи і ступенем порушення при проведенні виробки.

Для дослідження впливу механіки формування області фільтрації навколо гірничої виробки на процес нагнітання полімеру розроблено чисельну модель протікання зв'язаних процесів пружно-пластичного деформування породного масиву та фільтрації рідкого полімеру [3]. У постановці задачі враховується початкова проникність порід, і проникність, обумовлена особливостями проведення і кріплення виробки [4]. Враховується час встановлення анкера після відходу вибою, час нагнітання та застигання полімеру, ефект збільшення в об'ємі полімерного складу при змішуванні його компонентів. Моделюється зміна фізико-механічних та фільтраційних властивостей породного масиву (модуль пружності, межі міцності на стиск та розтяг, проникність) з тріщинами, заповненими полімером, при його застиганні. Враховується, що металева нагнітальна трубка вступає в роботу як анкер тільки після міцного закріплення в шпурі, тобто після застигання полімерного складу.

Було розглянуто випадок, коли в покрівлі виробки встановлено один ін'єкційний анкер довжиною 2,5 м. Герметизатор довжиною 0,26 м розташований на відстані 0,7 м від головки анкера. Вважалось, що навколишні породи мають початкову проникність 0,1 мД.

В результаті розрахунків отримано розподіли значень геомеханічних та фільтраційних параметрів в різні моменти процесу нагнітання і застигання полімеру. На рис. 1 показано розподіли значень параметру $Q^* = (\sigma_1 - \sigma_3) / \mu H$, що характеризує різнокомпонентність поля напружень, і зони непружних деформацій (червоний колір), на рис. 2 – фільтраційна проникність порід в моменти часу: а) перед встановленням ін'єкційного анкера і початком нагнітання; б) після закінчення нагнітання; в) після застигання полімеру. На момент установки ін'єкційного анкера приконтурні породи частково розвантажені від гірського тиску, навколо виробки сформована зона підвищеної різнокомпонентності поля напружень (рис. 1а). Після буріння шпуру, установки ін'єкційного анкера і початку нагнітання полімеру області підвищеної різнокомпонентності і непружних деформацій навколо виробки продовжують збільшуватися. Однак навколо анкера, у покрівлі виробки, різнокомпонентність поля напружень (рис. 1б, 1в) та проникність масиву (рис. 2б, 2в) значно знижуються.

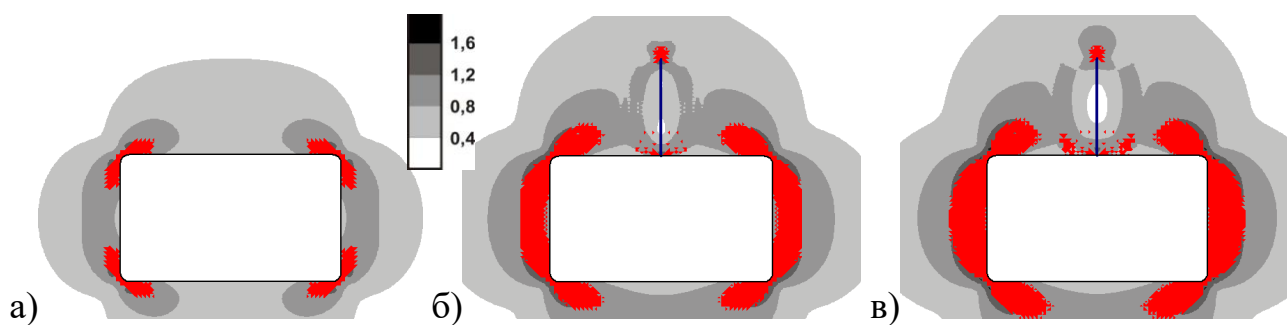


Рис. 1

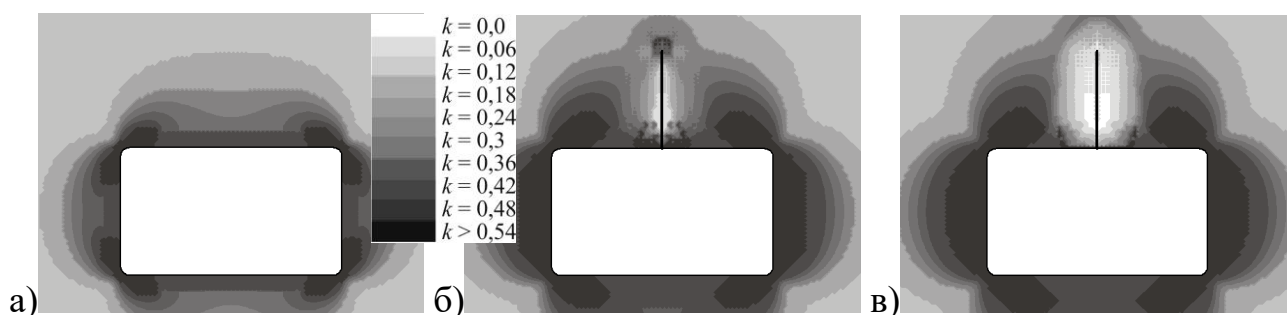


Рис. 2

На рис. 3 показано зміцнену область навколо ін'єкційного анкера, тріщинний простір якої заповнений полімером в різні моменти часу між а) початком нагнітання полімеру і г) після застигання полімеру.

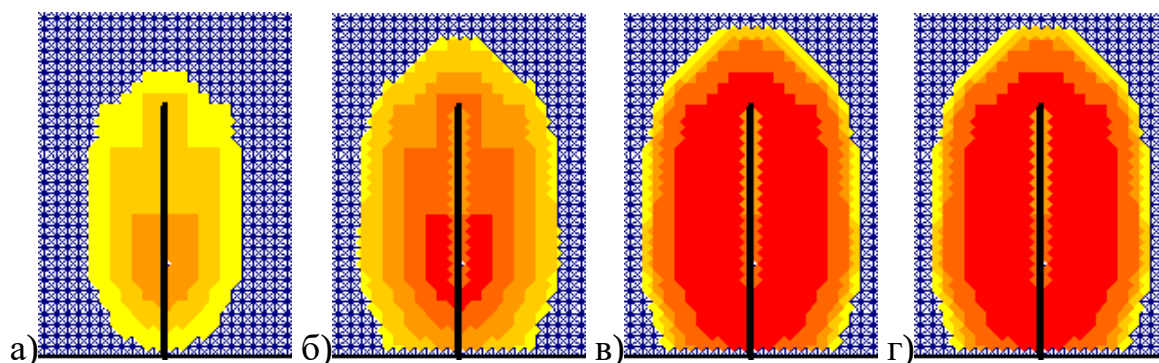


Рис. 3

Діаметр зони зміцнених, непроникних порід навколо анкера досягає 2,0 м для даних початкових та граничних умов.

Література

1. Wibisono D.Y., Setiawan E., Anugrah C., Nasution R. (2018) Ground consolidation with material injection case study for collapse rehabilitation in Tambang Emas Cibaliung, *ARMS10*, Singapore.
2. Спеціальний проект гірничих робіт з проведення відкотного квершлага пласта С5 ШУ імені Героїв Космосу в небезпечній зоні тектонічного порушення «Богданівський скид», Павлоград: ДТЕК ЕНЕРГО ШУ імені Героїв Космосу, 2016, 27 с.
3. Круковська В.В., Круковський О.П. (2018) Чисельне моделювання зв'язаних процесів, що відбуваються при нагнітанні зміцнюючої суміші у тріщинуватий масив за допомогою ін'єкційних анкерів, *Геотехнічна механіка*, №149, С. 100-110. <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.100>
4. Bulat A.F., Krukovskiy O.P., Krukovska V.V. (2024) Deformation of gas-bearing rocks and gas filtration during excavation of mine workings, *International Applied Mechanics*, 60(1), P. 10-19. <https://doi.org/10.1007/s10778-024-01259-9>

УДОСКОНАЛЕННЯ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН В МІЦНИХ ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ

Головний конструктор Антончик В.Є., доцент Ганкевич В.Ф.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
к.т.н Янжула О.С.

Вугільний департамент «Метінвест Холдинг», Україна
старший викладач Кіба В.Я.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Однією з найважливіших проблем при видобутку корисних копалин є вдосконалення способів буріння буровибухових свердловин, особливо в міцних і надміцних породах. На буріння свердловин в гірських породах витрачають від 70 до 90 % всіх матеріальних та трудових витрат. Особливо витратним є буріння свердловин в міцних гірських породах що потребує значних витрат енергії та швидкий знос бурового інструменту який при збільшенні міцності порід від 6 до 20 одиниць по М.М. Протод'яконову зростає від 15 % до 75 %. Відомо що для покращення буріння міцних гірських порід використовують попереднє їх розміщення яке у більшості випадків полягає у постійному створенні сітки тріщин на поверхні забою свердловини.

Одним з перших способів буріння міцних твердих порід було термічне буріння, суть якого полягала в тому, що поверхня забою нагрівалася до високих температур за короткий проміжок часу. Це призводило до розширення верхнього шару породи, виникненню в ньому напруги і відколюванню нагрітого шару породи. Недоліки цього методу полягають в тому, що не всі породи руйнуються при поверхневому нагріванні: деякі просто починають плавитися, крім того, із загальної кількості тепла, яке використовується для нагріву породи, в неї надходить тільки 5-10%. Зі збільшенням вартості енергоносіїв (нафтових похідних: бензину, гасу) такий спосіб буріння став економічно не вигідним навіть в порівнянні з механічним бурінням. В даний час термічне буріння використовується тільки для створення порожнини в свердловинах, що складно зробити механічним інструментом.

Наступний спосіб буріння міцних і особливо міцних порід був термомеханічний, який полягає в тому, що порода нагрівається до температури близько 300⁰-500⁰С (нижчої порівнянні з тепловим методом) для створення в ній теплового розширення і напруженого стану і після чого буріння проводиться механічним буровим інструментом, зазвичай як правило, шарошковими долотами. Термомеханічний спосіб буріння дозволив збільшити швидкість буріння свердловини в 1,8 - 2,5 рази. Але цей спосіб буріння міцних і особливо міцних порід також має суттєві недоліки.

Деякі з недоліків цього методу ті ж, що і у термічного буріння, тобто із загальної кількості тепла, яке витрачається на нагрівання породи, в неї надходить тільки 15-20 %, що при збільшенні вартості енергоносіїв значно збільшує витрати на буріння. Другим і найважливішим недоліком термомеханічного способу буріння є високий ступінь зносу механічного буріння оскільки поверхню забою нагрівають високотемпературним струменем

газу і інструмент працює в зоні високої температури, що погіршує як властивості твердосплавних штирів озброєння шарошкових доліт, так і роботу підшипника долота. Все це призводить до швидкого зносу механічного бурового інструменту, його частой заміни і значного збільшення вартості бурових робіт, які стають більше, ніж звичайне механічне буріння.

Наступний спосіб термомеханічного буріння - кріогенне буріння, який полягає в швидкому охолодженні поверхні забою гірської породи, що призводить до її стиснення появи в ній розтягуючих напружень і утворення сітки тріщин на поверхні забою. Подальше буріння відомими механічними інструментами призводить до більш легкого руйнування породи і збільшення швидкості буріння за менших енерговитрат.

Недоліком такого способу буріння є те, що охолодження поверхні здійснюється низькотемпературними рідинами, зокрема рідким азотом, в результаті чого буровий інструмент і його тверді сплави працюють в зоні низьких температур, що значно знижує його міцність і призводить до швидкого зносу або поломки. Крім того, витрати енергії та інших коштів на отримання рідкого азоту, який використовується для охолодження породи, дуже значні, що робить такий спосіб буріння економічно не вигідним.

В даний час для буріння міцних і особливо міцних порід використовуються механічні бурові інструменти трьох видів, ріжучого та ударно-обертальної дії двох видів, до яких відносяться бурові долота для пневмоударників і шарошкові бурові долота.

Ударно-обертальний спосіб буріння, передбачає створення в породі заглиблень (лунок) які повинні перекриватися, і за рахунок цього знімається певний шар породи і відбувається буріння.

Для створення заглиблень (лунок) в міцних і особливо міцних породах необхідний сильний удар бурового інструменту по породі, що вимагає значних енергетичних витрат і достатньої міцності інструменту. Енергія удару використовується дуже не раціонально оскільки в результаті створення лунки більша частина енергії витрачається на надмірне подрібнення породи об'єму лунки до стану порошку. До недоліків буріння пневмоударниками можна віднести високу витрату стисненого повітря на створення потужного удару, енергія якого в сучасних пневмоударниках використовується на 20-25%, що значно збільшує вартість свердління. Окрім цього тертя об поверхню забою долотчатої коронки притиснутої до нього приводить до швидкого її затуплення та зносу.

Свердління шарошковими долотами, вимагає значно менше стиснутого повітря (тільки для видалення продуктів руйнування), але саме шарошкове долото має відносно невеликий термін використання через знос підшипників та зубків озброєння і вимагає регулярної заміни, в той час як його вартість досить висока.

Відомо, що одним із найпростіших і найефективніших способів створення тріщин у міцних гірських породах є удар. Однак, як зазначалося раніше, ударне буріння вимагає значних витрат енергії та призводить до швидкого зношування інструмента саме через велику енергію удару, необхідну

для створення заглиблення (лунки), а також через перекриття заглиблень при знятті шару породи.

Нове рішення проблеми буріння міцних гірських порід полягає в тому, щоб зняття шару породи здійснювати у два етапи.

Спочатку ударом бурового інструмента створюється на поверхні забою система тріщин, а потім шар породи знімається звичайним ріжучим інструментом. При цьому в напрямку обертання бурового долота за ударним інструментом одразу слідує ріжучий інструмент. Особливість такого способу буріння полягає в тому, що ударний інструмент не виконує безпосереднього буріння, тобто не створює заглиблення, а лише формує на поверхні забою систему тріщин. Це потребує значно меншої енергії удару, що, у свою чергу, призводить до значно меншого зношування інструмента.

Далі відбувається зрізання шару гірської породи звичайним ріжучим інструментом. При цьому як впровадження, так і подальший скол відбувається у тріщинуватій гірській породі, де її руйнування відбувається на вільну поверхню утворених тріщин внаслідок перевищення межі міцності породи від дотичних напружень, які в 3-5 разів менші за нормальні напруження. Наразі ударно-обертальне буріння твердих гірських порід здійснюється здебільшого за рахунок подолання межі міцності від нормальних напружень стиснення, значення яких для цих порід є дуже високими.

В ІГТМ ім. М.С. Полякова розроблена технологія ударно-різального способу руйнування міцних гірських порід при бурінні свердловин, яка забезпечує появу сітки радіальних тріщин на поверхні забою, тим самим суттєво знижуючи зусилля подальшого руйнування різанням.

Руйнування різанням при наявності вільної поверхні в вигляді радіальних тріщин виконується по лінії дотичних напружень, які для порід в декілька (3-5) разів менше нормальних, що потребує відповідно менших зусиль на бурові різці, знижує енергоємність буріння і підвищує термін працездатності різального інструмента (знос зубців долотчатої коронки).

Для реалізації даного способу буріння в міцних і надміцних породах рекомендовано використання ударно-різального долота, яке складається з погрузного пневмоударника з долотчатою коронкою для утворення радіальних тріщин на поверхні забою свердловини і різального інструмента з твердосплавними різцями для відокремлення шару тріщинуватої породи [1, 2, 3].

Література

1. Снижение энергоемкости бурения скважин станками ударно-вращательного действия /А.Е. Назаров, В.Ф. Ганкевич, А.А. Пащенко, В.Я. Киба // Міжвідомчий зб. наук. праць ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпро. – 2020. – Вип. 150. – С. 146 – 155.
2. Пат. На корисну модель 147393 Україна, МПК Е 21В 10/08 (2006.01). Спосіб буріння свердловин в міцних гірських породах /В.Є. Антончик, В.Ф. Ганкевич, О.А. Пащенко, О.В. Лівак; НТУ «ДП». - № и 2020 07305; заявл. 16.11.2020, опубл. 05.05.2021. – Бюл. № 18. – 6 с.
3. Універсальний пневмогідроамортизатор бурового ставу /В.Є. Антончик, В.Ф. Ганкевич, В.Є. Мальцева, С.П. Мінеєв, В.Я. Кіба, О.В. Лівак, Н.Г. Велігіна //Міжвідомчий зб. наук. праць ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – 2024. - № 168. – С. 5 – 16.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ ВІБРАЦІЙНОГО ЖИВИЛЬНИКА З УРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Ст. наук. співр. Сухарев В. В., наук. співр. Пелих І. В.

ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова

доц. Кононов Д.О., студент Мозолевський Д.С.

ІНІ «Дніпровський металургійний інститут»,

Український державний університет науки і технологій

Для забезпечення стабільної роботи вібраційного живильника (сталість амплітуди коливання при зміні будь-яких параметрів системи) з інерційним приводом використовується зарезонансне налаштування.

Частоти вільних коливань вібраційних машин на віброізолюючих опорах повинні бути в кілька разів нижче частоти вимушених коливань (робочої частоти машини). Тому в вібраційних машинах з дебалансним віброзбудником в процесі пуску і зупинки машини часто виникають інтенсивні коливання при приблизному збігу частоти обертання валу дебаланса з зазначеними частотами вільних коливань, тобто при проходженні через резонанс. Амплітуди коливань при проходженні зони резонансу можуть у багато разів перевищувати амплітуди в робочому режимі, відповідно зростають і сили, які сприймаються віброізоляторами і передаються через віброізолятори на несучі конструкції.

Розглянемо модель даного грохота - живильника, схема якого показана на рис. 1. Вібраційний живильник складається з лотка 1, який через пружні зв'язки 2 спирається на відкриту раму (фундамент) 3. Робочий орган приводиться в коливальний рух віброзбуджувачем 4, що приводиться в дію асинхронним електродвигуном. Вплив матеріалу, що знаходиться в бункері, оцінимо змінною силою F , яка залежить від властивостей і швидкості витікання матеріалу. Матеріал являє собою одиничний вантаж 5 постійної маси.

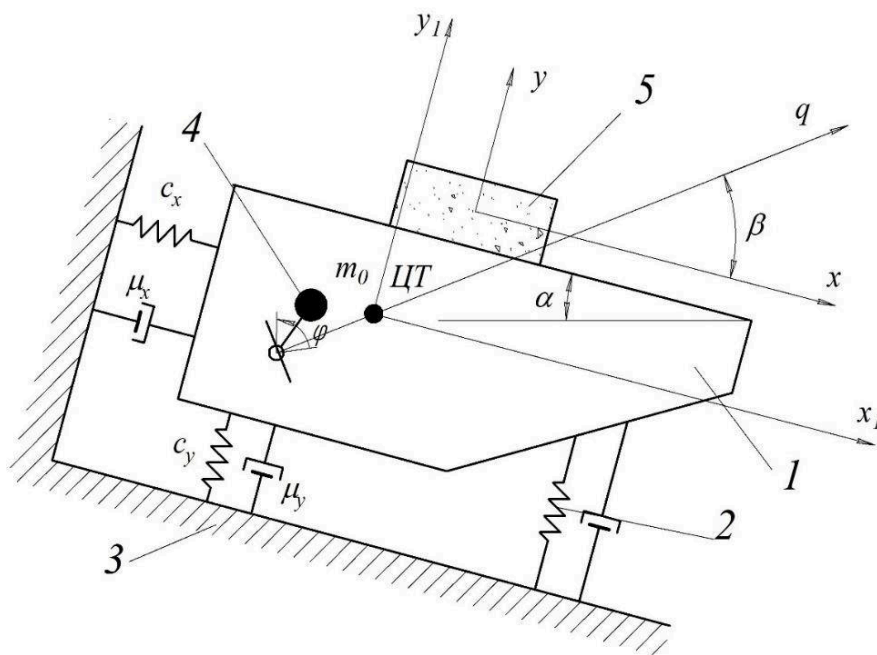


Рис. 1.

Система диференціальних рівнянь руху має вигляд

$$\begin{cases} (M + m_0)\ddot{q} + \mu\dot{q} + cq = -m_0r\dot{\varphi}^2 \cos \varphi - m_0r\ddot{\varphi} \sin \varphi \\ (I + m_0r)\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + m_0r\ddot{q} \sin \varphi = M(\dot{\varphi}) - m_0f_{\text{пр}} \frac{d}{2} r \dot{\varphi}^2 \end{cases}$$

де $q, \dot{q}, \ddot{q}$ – координата, швидкість і прискорення живильника; $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – кут повороту, кутова швидкість і прискорення валу дебаланса; M – загальна коливаючих мас; I – момент інерції обертових частин приводу, приведений до валу двигуна; m_0 – сумарна маса дебалансів; c – приведена до осі q жорсткість пружної системи; r – радіус обертання центрів тяжіння дебалансів; $M(\dot{\varphi})$ – момент на валу електродвигуна; $H(\varphi, \dot{\varphi})$ – момент опору обертанню вібратора; $F(q, \dot{q})$ – зусилля впливу матеріалу в бункерах на робочий орган живильника.

Обертовий момент електродвигуна можна визначити за формулою Клосса

$$M(\dot{\varphi}) = \frac{M_{\text{кр}} \cdot (2 + q)}{\frac{1 - \frac{\omega}{\omega_{\text{син}}}}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{1 - \frac{\omega}{\omega_{\text{син}}}} + q}$$

де $\omega_{\text{син}}$ – синхронна кутова швидкість обертання валу електродвигуна;

$\omega = \dot{\varphi}$ – кутова швидкість обертання електродвигуна; $s_{\text{кр}}$ – критичне ковзання;

$M_{\text{кр}}$ – критичний момент електродвигуна,

$$M_{\text{кр}} = \lambda \cdot M_{\text{н}}; \quad s_{\text{кр}} = \frac{\sqrt{s_{\text{н}}} + \sqrt{\frac{\lambda - 1}{\mu_1 - 1}}}{\frac{1}{\sqrt{s_{\text{н}}}} + \sqrt{\frac{\lambda - 1}{\mu_1 - 1}}}; \quad q = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{s_{\text{кр}}}} - \sqrt{s_{\text{кр}}}\right)^2}{\mu_1 - 1} - 2$$

де $M_{\text{н}}$ – номінальний момент електродвигуна; λ – кратність максимального момент електродвигуна; $s_{\text{н}}$ – номінальне ковзання; μ_n – кратність пускового моменту електродвигуна; $\mu_1 = \lambda/\mu_n$.

Для вирішення системи диференціальних розроблена програма в додатку Simulink програмного продукту MatLab. Моделі дозволяють розраховувати різні параметри роботи в залежності від параметрів вібромашини.

Отримані залежності підтверджують збільшення амплітуди коливання лотка живильника при пуску та зупинці живильника, що необхідно враховувати для розрахунку параметрів роботи систем з вібраційними машинами.

На рис. 2 та 3 показані результати розрахунку, одержані при чисельному рішенні системи диференціальних рівнянь, при наступних вихідних даних: $M = 600$ кг; $m_0 = 25$ кг; $I = 1,1$ кг·м²; $\mu = 2000$ Н·с / м; $c = 7 \cdot 10^5$ Н·м; $r = 0,05$ м; $d = 0,06$ м; $b = 0,1$ Н·м·с; $f = 0,01$; $P = 5,5$ кВт; $n_{\text{н}} = 1470$ хв⁻¹; $n_{\text{с}} = 1500$ хв⁻¹.

Перший графік (рис. 2) відповідає номінальному режиму роботи даної вібраційної установки ($\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{ном}} = 156$ с⁻¹). На другому графіку (рис. 3) відбувається зависання машини під час запуску, частота обертання двигуна не досягає нормальних значень ($\omega_{\text{дв}} \neq \omega_{\text{ном}} = 75$ с⁻¹). Амплітуда коливань перевищує в 3-4 рази номінальні значення при номінальному режимі.

Отримані залежності підтверджують збільшення амплітуди коливання лотка живильника при пуску та зупинці живильника, що необхідно враховувати для розрахунку параметрів роботи систем з вібраційними машинами.

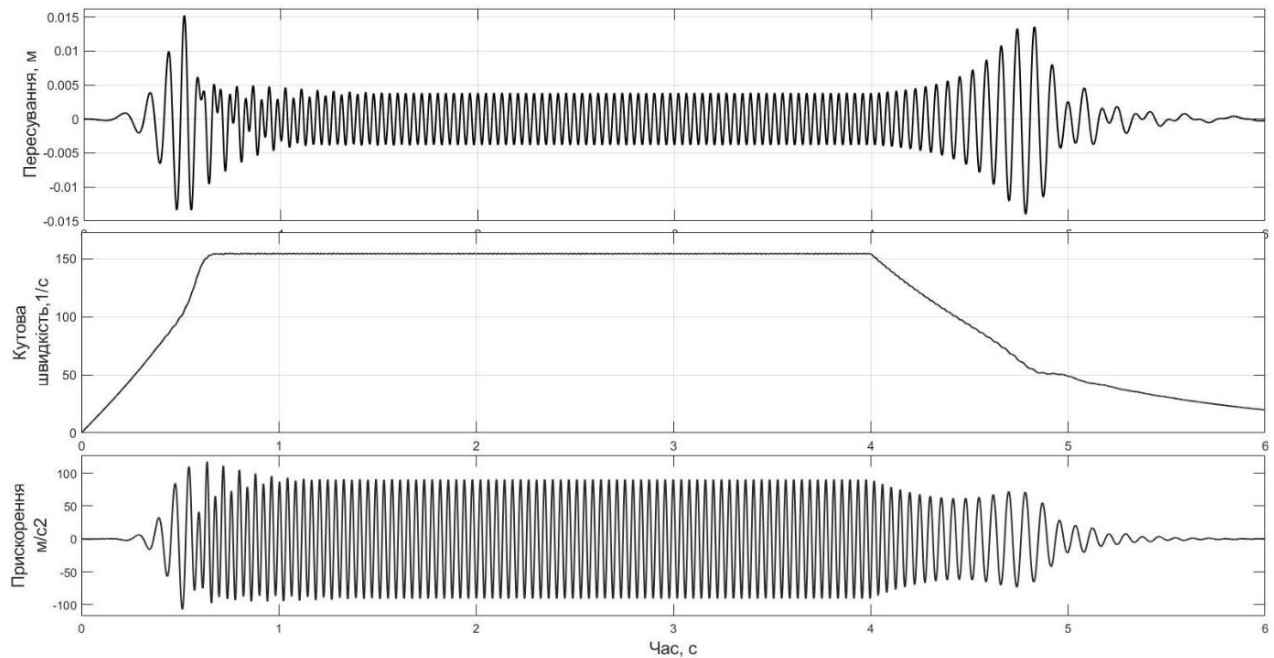


Рис. 2

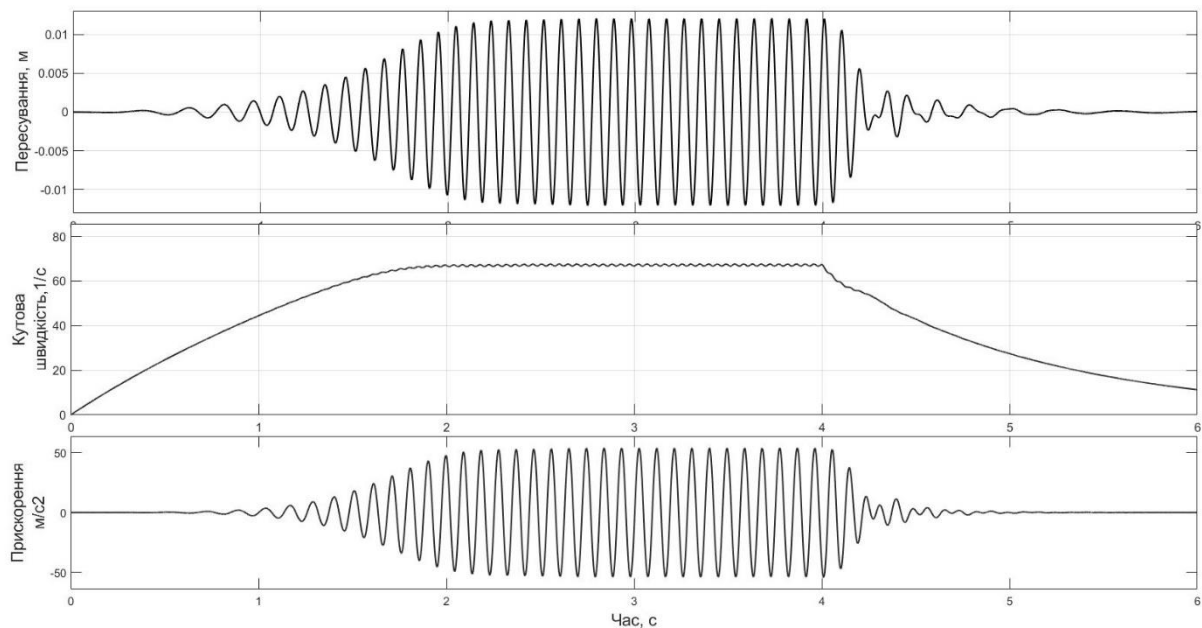


Рис. 3

Література

1. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах : Моногр. / В. Н. Потураев, В. П. Франчук, В. П. Надутый; НАН Украины. Ин-т геотехн. механики. - Д., 2002. - 190 с.
2. Потураев В.Н. Динамика и прочность вибрационных транспортно-технологических машин [Текст] / В.Н. Потураев, А.Г. Червоненко, Ю.Я. Ободан. - Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1989. - 112 с.
3. Васюра А.С. Элементы та пристрої систем управління і автоматики /Навчальний посібник. - Вінниця:, ВДТУ, 1999. - 157 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИМЧАСОВОГО ЗАТОПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК НА СТАН ПРИКОНТУРНИХ ПОРІД

Науковий співробітник Виноградов Ю.О.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Однією з головних небезпек, що є наслідком затоплення гірничих виробок, є розмокання гірських порід. При розмоканні приконтурних порід відбувається швидка втрата міцнісних властивостей покрівлі і боків виробки. Західний Донбас є одним з найбільш уразливих, з цієї точки зору, серед вугледобувних районів країни. Можна відзначити, що близько 70% вуглевмісних порід показують слабкий запас міцності в зволоженому стані.

Проаналізувавши результати випробувань [1], можна говорити про велику втрату міцності на одновісний стиск після змочування. Було виявлено істотну втрату міцності і несучих властивостей навіть зразків пісковиків, які відносяться до найбільш стійких до розмокання порід. Основна маса аргіліто-алевролітових порід в Західному Донбасі схильна до практично повної втрати міцності при одноосьовому навантаженні при зволоженні. Породи з такими деформаційними характеристиками при їх поверхневому навантаженні втрачають несучу здатність, тобто не можуть служити надійною основою для опорних елементів кріплення гірничої виробки. Істотні зміни фізико-механічних властивостей гірських порід при водонасиченні в умовах поля стискаючих напружень можуть привести до втрати стійкості гірського масиву навколо виробки [2].

Для розв'язання зв'язаних задач зміни напруженого стану гірських порід і фільтрації води [3] застосовується метод скінченних елементів [4, 5]. В результаті розрахунків за умови зволоження вміщуючих порід при затопленні виробки були отримані розподіли полів напружень і зони непружних деформацій. Розрахунки щодо напружено-деформованого стану і параметрів фільтрації при затопленні виконано для виробки найбільш поширеної форми поперечного перерізу – аркової. Розглянуто виробку, яка знаходиться в тимчасовому затопленні.

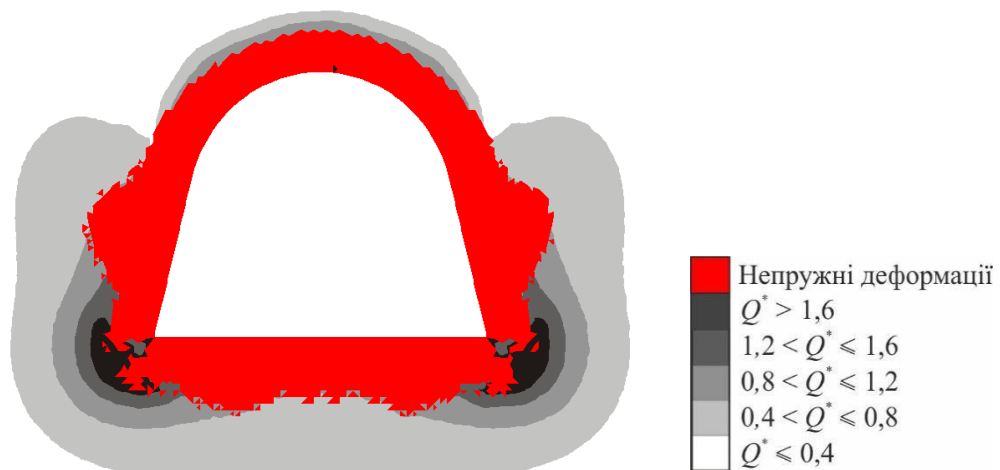


Рис. 1

Навколо виробок як з рамним кріпленням формується область підвищеної різнокомпонентності поля напружень. На рис. 1 показано різнокомпонентність поля напружень і зони непружних деформацій (червоний колір). Контур виробки оточує зона непружних деформацій, що призводить до збільшення тріщинуватості вміщуючих порід та їх руйнування.

Також були отримані розподіли значень коефіцієнтів проникності породного масиву навколо виробки. На рис. 2 показано розподіл значень коефіцієнтів проникності породного масиву k . Видно, що після затоплення виробки навколо неї утворюється водопроникна область.



Рис. 2

Можна зробити висновок, що розмокання порід має істотний вплив на стійкість виробок. Аналіз отриманих даних показав, що навколо виробки з рамним кріпленням відбувається водонасичення порід та в результаті розмокання значно зменшується їх міцність, що сприяє втраті зчеплення розмоклих породних блоків один з одним, що нерідко призводить до їх взаємного проковзування і утворенню вивалів. Отже, область фільтрації води навколо виробки розширюється вглиб масиву, утворюється велика порушена зона.

Література

1. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наукова думка, 1989. – 129с.
2. Виноградов Ю.А. Влияние водопрочности вмещающих пород на устойчивость выработки с рамной и анкерной крепью / Физико-технические проблемы горного производства, Институт фізики гірничих процесів НАН України, Днепр, 2018
3. Виноградов, Ю.А. Динамика изменения фильтрационных параметров при проведении горной выработки по обводненным породам / Международная научная конференция «Актуальные научные исследования в современном мире» 2020. С. 44-52
4. Метод конечных элементов в задачах газонефтепромышленной механики / В.Н. Аликин, И.Е. Литвин, С.М. Щербаков, В.П. Бородавкин. – М.: Недра, 1992. – 228 с.
5. Zienkiewicz, O.C. (2000). The finite element method. Butterworth-Heinemann, T. 1, 690 p.

ВЗАЄМОДІЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ З БЛОЧНО-СТРУКТУРОВАНИМ ПОРОДНИМ МАСИВОМ

Член.-кор. АН України, докт. техн. наук Круковський О.П.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

В певних гірничо-геологічних умовах породний масив розбито тріщинами або системами тріщин, якими він поділений на блоки. Із шахтних спостережень випливає, що тріщини виникають також між рядами анкерів, відстань між якими перевищує відстань їх ефективної взаємодії. В слабких породах сформовані природним або техногенним шляхом породні блоки отримують можливість зміщення у простір виробки.

Для дослідження стану блочно-структурованого породного масиву навколо гірничої виробки з анкерним кріпленням та обґрунтування можливості запобігання зсувам породних блоків було розроблено чисельну модель блочно-структурованого гірського масиву з гірничою виробкою, закріпленою анкерами [1]. Задача розв'язувалась в пружно-пластичній постановці із застосуванням критерію міцності Кулона-Мора методом скінчених елементів. Анкери моделювались за допомогою послідовно розташованих стрижневих скінчених елементів, що контактують із елементами породи у вузлових точках [2, 3]. Тріщини моделювались чотири-вузловими контактними скінченими елементами, заснованими на контакт-елементі Гудмана [4, 5], які мають нульову товщину, а початкові координати вузлів їх протилежних сторін збігаються. Утворення та зростання тріщини може відбуватися у вигляді її розкриття або зсуву вздовж її поверхні. Верифікацію розробленої чисельної моделі було виконано за результатами порівняння розрахункових значень та фактичних вимірів зміщення покрівлі під час опускання породно-анкерного блоку, сформованого в покрівлі 351 збірного штреку шахти «Тернівська», яке сталося при переході з рамного кріплення на рамно-анкерне [6].

Розроблено спосіб, який за рахунок введення до скінчено-елементної схеми контактних елементів дозволяє моделювати напружено-деформований стан порід з тріщинами. З використанням розробленого способу було досліджено відносні зміщення блоку, утвореного в покрівлі гірничої виробки навколо однієї породно-анкерної опори. Напружений стан порід аналізувався за допомогою геомеханічного параметру, який характеризує різнокомпонентність поля напружень:

$$Q^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H},$$

де σ_1 , σ_3 – максимальна і мінімальна компоненти тензора головних напружень, Па; γ – середня вага розташованих вище гірських порід, Н/м³; H – глибина ведення гірничих робіт, м.

На рис. 1 показано розподіл значень параметра Q^* та зміщення породного блоку в чотирьох випадках: а) коли виробка незакріплена; б) виробка закріплена із застосуванням простої конструкції анкерного кріплення; в) посиленої і в) потужної конструкції анкерного кріплення [7].

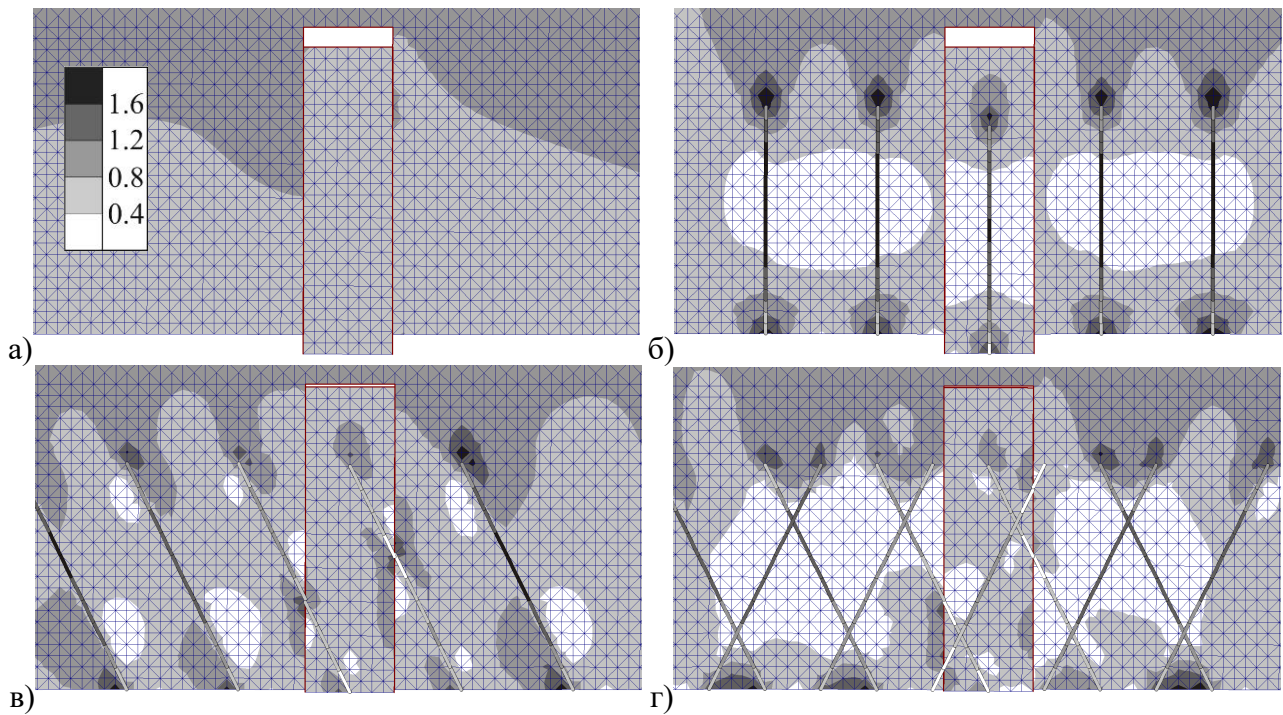


Рис. 1

Було показано, що в тріщинуватому, розділеному на блоки масиві, зміщення окремого блоку сягає максимуму у виробці з незакріпленою покрівлею, рис. 1а. Проста конструкція анкерного кріплення майже не перешкоджає зсуву породного блоку разом з рядом анкерів, встановлених вертикально, рис. 1б. Нахил анкерів на 70° на вибій у посиленій конструкції значно покращує стан покрівлі, рис. 1в, її зміщення знижується на 87%. А застосування потужної конструкції блокує переміщення породно-анкерного блоку практично повністю, на 93%, рис. 1г. Отже, посилена і потужна конструкції анкерного кріплення дозволяють зберігати тріщинуватий, розділений на блоки масив, у стійкому стані.

Література

1. Krukovskiy O. (2020) Formation of elements of the bolting structure for mine workings, *Geo-Technical Mechanics*, no. 151, pp. 27-62. <https://doi.org/10.15407/geotm2020.151.027>.
2. Krukovskiy O.P. (2018) Application of roof bolting support in the Ukrainian mines, *The 25th World Mining Congress. Proceedings. Underground mining*, Astana, pp. 1451-1459.
3. Krukovskiy A.P. (2010) Investigation of stress state of rock mass around workings in the zone of its conjunction with the longwall goaf, *Geo-Technical Mechanics*, no. 91, pp. 239-244.
4. Huang D., Tang A., Wang Z. (2020) Analysis of pipe-soil interactions using Goodman contact element under seismic action, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, no. 139(5), 106290. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106290>
5. Sun G., Yi Q., Sun Y., Wang J. (2023) The Goodman contact element in geotechnical engineering based on the virtual element method, *Archive of Applied Mechanics*, no. 93, pp. 1671-1697. <https://doi.org/10.1007/s00419-022-02352-6>
6. Krukovskiy O., Krukovska V., Demin V., Bulich Yu., Khvorostian V. (2024) Numerical study of the interaction of rock bolts with the block-structured rock mass. *Geo-Technical Mechanics*, no. 168, pp. 152-163. <https://doi.org/10.15407/geotm2024.168.152>
7. Krukovskiy O.P., Krukovska V.V., Bulich Yu.Yu., Zemlianaia Yu.V. (2020) Some aspects of development and application of the bearing-bolt supporting technology. *Resource-saving technologies of raw-material base development in mineral mining and processing*. Petroșani: Universitas Publishing, Romania, pp. 123-142. <https://doi.org/10.31713/m908>

AUTOMATIZATION OF MINE SUPPORT CALCULATION

Student, Krukovskyi Dmytro
Dnipro University of Technology

Automatization of mine support calculation improves the efficiency and accuracy of designing support structures in mining roadways, addressing critical challenges posed by varying geological conditions. Manual methods for calculating support parameters are time-consuming, prone to errors, and rely heavily on static, empirical values. With increasing depths and geomechanical complexity, the need for automated solutions has become evident. The “MWSCalculator” program was developed to automate this process, ensuring optimal support designs while complying with established standards like “A system for ensuring the reliable and safe functioning of roadways with rock bolting” [1] and “Instructions for the design of the combined frame-bolt support of roadways” [2]. This program has demonstrated significant improvements in operational efficiency and design accuracy in the mines where it has been deployed.

The program is designed to handle various types of support systems, including frame support and rock bolt systems. By selecting the appropriate support type during input, the program adjusts its calculations to account for the specific load distribution, deformation resistance, and installation density required by each support type. For arc supports, the program focuses on optimizing frame spacing and load-bearing capacity, while for rock bolts, it calculates optimal bolt length, bolting force, and spacing based on geomechanical conditions. This flexibility allows mining engineers to tailor support designs for different roadway profiles and geological settings.

The program is written in C# and uses a modular architecture, with components interacting seamlessly to process input, perform calculations, validate results, and generate comprehensive reports. It features a graphical user interface (GUI) built with WPF, making it accessible and user-friendly. The underlying architecture includes key modules: the input module, calculation engine, standards compliance layer, and output module. The input module collects geological, geometric, and support system data, which is passed to the calculation engine for processing. The engine handles complex numerical computations using algorithms based on empirical coefficients, stability factors, and dynamic influences. The program adheres to safety guidelines by cross-referencing computed values with national mining standards, ensuring that output parameters meet the necessary requirements. Outputs are presented as comprehensive reports, which follow required standards and features .docx format.

The program has been applied in several test cases, including the 188 collection roadway of the "Samarska" mine, where it evaluated critical parameters such as frame density, displacement of roof and floor layers, and load-bearing capacity of supports. Figure 1 shows the example of the roadway model used in calculation visualized via program's UI. The case study involved analysing geological conditions, including layers of argillite, siltstone, and sandstone, and simulating stress distributions based on actual mining data. The program identified optimal frame spacing as 1.0 m, reducing support material usage without compromising safety. The roof displacement was accurately predicted, and dynamic effects, which are often overlooked in manual

methods, were factored into the final design. Compared to traditional methods, the program reduced the total time required for the entire design process, from initial data input to result generation, from six hours to less than two, while also improving the accuracy of the results.

Розрахунок параметрів анкерного кріплення

Файл Довідка Про програму

Найменування шахти: Самарська

Найменування виробки: 144 збірний штрек

Робочий опір арки: 270

Несна спроможність рами: 589

Висота виробки - Н (м): 3.46

Ширина виробки - В (м): 4.31

Ширина додаткова: 0.4

Щільність встановлення анкерів: 1

Довжина анкерів: 2.4

Термін експлуатації (місяців): 6

	40МПа 2м
	20МПа 2м
	25МПа 2м
	30МПа 1м
	20МПа 2м
	24МПа 5м
	22МПа 4м

Fig. 1

The potential industry-wide impact of automated support design could be significant, with estimated savings in time and resources contributing to overall productivity. By eliminating manual, time-consuming calculations, mines can reduce design time by up to 70%, enabling faster project turnaround and greater flexibility in planning. Accurate, automated calculations also prevent the overuse of materials, potentially cutting support costs by 10-15% without compromising safety. With precise deformation predictions, fewer structural failures occur, leading to reduced maintenance and downtime. As mining operations become more complex, automated systems will be essential in ensuring both efficiency and long-term sustainability.

References.

1. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2014). *JUU 10.1.05411357.010:2014 A system for ensuring the reliable and safe functioning of roadways with rock bolting. General technical requirements*. Kyiv, Ukraine.
2. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2014). *JUU 10.1.05411357.012:2014 Instructions for the design of the combined frame-bolt support of roadways*. Kyiv, Ukraine.

МЕТОДИ ДИНАМІЧНОГО КОНТРОЛЮ СИСТЕМИ «ПІДЙОМНА ПОСУДИНА - АРМУВАННЯ» У ШАХТНИХ СТОВБУРАХ

Ільїн С.Р., Адорська Л.Г., канд. техн. наук, с. н. с.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

доцент Ільїна І.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Динамічний контроль застосовується у вертикальних шахтних стовбурах при проведенні їх експертного обстеження (технічного огляду) з метою визначення фактичного технічного стану системи «підйомна посудина - жорстке армування» [1]. Пропонуються наступні методи динамічного контролю системи.

1. Розрахунково-аналітичний метод на базі математичного моделювання динамічного стану системи «підйомна посудина - жорстке армування». В якості вихідних даних для розрахунків використовуються дані апаратурних інструментальних вимірювань параметрів, до яких відносяться конструктивні проектні параметри армування та підйомної посудини, втрати перерізу провідників та розпорів, кінематичні зазори у парах «башмак-провідник», параметри кривизни профілів провідників. В результаті розрахунків визначається допустима швидкість підйому за критеріями динамічної стійкості взаємодії посудини з армуванням, кінематичного зачеплення, міцності армування. За результатами застосування цього методу видаються рекомендації:

- щодо подальшого швидкісного режиму та допустимої вантажопідйомності для кожної з підйомних посудин, що працюють у стовбурі;
- з ремонтних робіт в армуванні стовбура з метою збереження технологічно заданого безпечного швидкісного режиму і вантажопідйомності установок стовбура (відновлення параметрів міцності провідників і розпорів, корекції профілів провідників).

2. Апаратурний кінематичний метод, за яким в результаті вимірювань визначаються поярусні максимальні в прольоті, прив'язані до глибинних позначок у стовбурі значення горизонтальних і вертикальних прискорень башмаків підйомної посудини.

3. Апаратурний динамічний метод, який має дві модифікації:

- метод прямого виміру силовимірювальними датчиками контактних зусиль у парах «башмак-провідник»;
- вимірювально-аналітичний метод з апаратурним вимірюванням горизонтальних прискорень башмаків підйомної посудини та розрахунковим визначенням контактних навантажень на підставі комплексних динамічних моделей систем «посудина - армування».

В результаті вимірювань та розрахунків, згідно з цим методом, визначаються максимальні в прольоті, прив'язані до глибинних позначок у стовбурі контактні зусилля в парах «башмак - провідник».

За результатами застосування апаратурних методів видані рекомендації:

- з виконання адресного, прив'язаного до глибинних позначок у стовбурі, місцевого профілювання провідників на коротких ділянках;

- щодо параметричного аналізу профілів системи провідників кожного вантажопідйомного відділення стовбура;
- з виявлення відхилень параметрів профілів системи провідників відділень понад номінальні значення, що генерують динамічні збудження з підвищеними значеннями горизонтальних навантажень;
- щодо корекції профілів провідників та усунення параметрів їх кривизни понад номінальних значень.

4. Комплексний вимірювально-аналітичний метод, при якому в результаті вимірювань і розрахунків визначаються максимальні в прольоті, прив'язані до глибинних позначок у стовбурі контактні зусилля в парах «башмак – провідник», втрата перерізу провідників та розпорів, кінематичні зазори в парах «башмак - провідник», параметри кривизни профілів провідників, параметри діаграми швидкості руху підйомних посудин, мінімальні в прольоті залишкові запаси міцності провідників і розпорів. За результатами застосування цього методу видаються рекомендації:

- щодо виконання адресного, прив'язаного до глибинних позначок у стовбурі, місцевого профілювання провідників на коротких ділянках;
- щодо корекції профілів провідників та усуненню надномінальних значень параметрів їх кривизни, які викликають підвищені динамічні навантаження;
- з ремонтних робіт в армуванні стовбура з метою збереження технологічно заданого безпечного швидкісного режиму та вантажопідйомності установок стовбура, відновлення параметрів міцності провідників і розпорів;
- за подальшим швидкісним режимом і допустимою вантажопідйомністю для підйомних посудин, що працюють у стовбурі, в міжремонтний період.

Попередній технічний стан системи «посудина - армування» визначається оптико-візуальним методом [1]. Вибір методу динамічного контролю проводить організація, що виконує експертне або спеціалізоване обстеження шахтного стовбура на підставі результатів оптико-візуального контролю. У стовбурах, з підйомами, що працюють на швидкості до 6 м/с, рекомендується застосовувати розрахунково-аналітичний метод динамічного контролю, незалежно від терміну експлуатації. У стовбурах, з підйомами, що працюють на швидкості понад 6 м/с, в яких при оптико-візуальному обстеженні не виявлено втрати перерізу провідників і розпорів понад 20%, при цьому аналізом профілювань провідників встановлено наявність ділянок з наднормативними відхиленнями від вертикалі та порушеннями нормативних значень ширини колії, рекомендується застосовувати апаратурний динамічний метод контролю, незалежно від терміну експлуатації. У стовбурах, з підйомами, що працюють на швидкості понад 6 м/с, в яких при оптико-візуальному обстеженні виявлено втрату перерізу провідників і розпорів понад 20%, рекомендується застосовувати комплексний вимірювально-аналітичний метод динамічного контролю, незалежно від терміну експлуатації.

Література

1. ГР 3-032-2004 «Діагностика стану систем „кріплення-масив” та „підйомна посудина-жорстке армування” шахтних стовбурів. Порядок та методика виконання”. Міністерство промислової політики України, 2004. – 40 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПОГЛИНАННЯ ГРАФІТОНАПОВНЕНОГО ПОЛІАМІДУ

Доцент Кухар В.Ю.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

В конструкціях фільтрів технічної води [1] розробки та виготовлення НВП ТОВ «Океанмашенерго» (м. Дніпро, Україна) широко використовуються полімерні та композитні конструкційні матеріали [2]. Наприклад, з поліаміду 6 (капролону 6) виготовляють вкладиші підшипників ковзання та торцевих ущільнень (рисунок 1, а, б), які відмінно себе зарекомендували при довготривалій (до 7...10 років) роботі у забрудненій твердими частинками воді (рисунок 1, в).



а)

б)

в)

Рисунок 1 – Вироби з поліаміду у фільтрах технічної води
поліамідне торцеве ущільнення (а), підшипник ковзання новий (б),
підшипник ковзання після 7 років експлуатації (в)

Серед беззаперечних переваг поліаміду-6 як інженерного пластику для застосування в подібних конструктивних рішеннях є прийнятна межа міцності на стискання (до 100 МПа), високі хімічна стійкість та стійкість до стирання, прийнятні антифрикційні властивості (коефіцієнт тертя по сталі насухо – 0,2...0,3, за наявності води – 0,1). Суттєвим недоліком поліаміду-6 є високе водопоглинання (до 3...4 %) та пов'язане з цим істотна зміна розмірів виготовлених з нього деталей. Якщо відносно підпружинених деталей типу торцевих ущільнень їх подовження компенсується пружинами, то зменшення внутрішніх діаметрів поліамідних підшипників може призвести до зменшення робочих зазорів у парах тертя, зміни режимів роботи та промивання потоком води підшипників та навіть до стопоріння валів у «набухлих» підшипниках.

Для проектування поліамідних підшипників необхідне точне знання його коефіцієнту водопоглинання. Серед наявного на ринку України круглого сортаменту поліаміду на жаль дуже складно отримати конкретні значення його характеристик. Навіть при наявності у продавців сертифікатів походження та якості поліаміду неможливо відслідкувати їх відповідність реальним зразкам товару через відсутність маркування кожного зразка полімеру. У сертифікатах походження та якості наведені вельми варіативні значення технічних характеристик, які не дозволяють проводити розрахунок геометричних розмірів

точних деталей. Наприклад, стосовно коефіцієнта водопоглинання зазвичай наводяться значення від 1 до 3 %, тобто варіативність складає 300%. Одним зі способів отримання точного значення потрібних технічних характеристик поліаміду є їх експериментальне визначення для конкретних зразків.

Визначення коефіцієнта водопоглинання проводилося з використанням методики, наведеної у стандарті ISO 62:2008 Plastics - Determination of water absorption. Зазначена методика передбачає підготовку зразків з полімеру, попереднє їх висушування, вимірювання їх «сухої» маси, знежирення поверхні розчинником, занурення у дистильовану воду, витримування у воді певний час та періодичне зважування. Збільшення маси полімерних зразка по відношенню до його «сухої» маси, виражене у відсотках, надасть значення шуканого коефіцієнту водопоглинання.

Разом зі збільшенням маси поліамідного зразка за рахунок поглинання води, важливим є встановлення закономірностей зміни розмірів зразка для можливості визначення потрібних «сухих» розмірів деталей з графітонаповненого поліаміду для точного прогнозування їх реальних розмірів після повного насичення полімеру водою. Тому разом з вимірюванням зміни маси проводили вимірювання характерних розмірів (зовнішній D та внутрішній d діаметри, довжина L) типових підшипникових деталей (рисунок 2), вживаних у фільтрах технічної води.

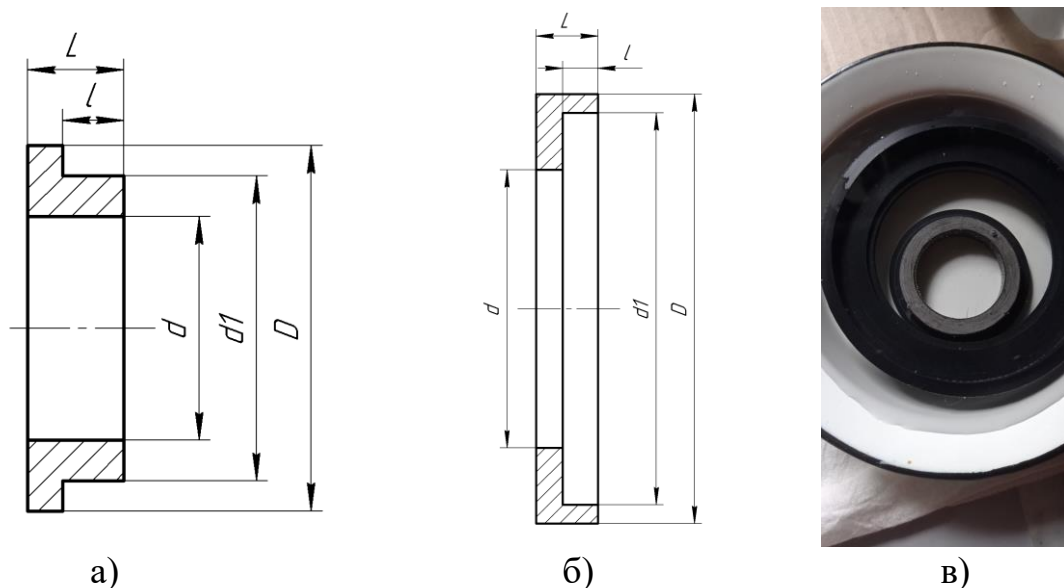


Рисунок 2 – Деталі з поліаміду у формі: підшипника ковзання (а), торцевого ущільнення (б), занурені в воду деталі (в)

Визначення ваги деталей здійснювалося за допомогою електронних ваг з дискретністю 0,01 г, визначення розмірів – за допомогою штангенциркуля цифрового ШЦЦ-200 ТУ У 33.2-30291682-001-2004 з дискретністю 0,01 мм. Вимірювання діаметрів здійснювалось біля 4 промаркованих діаметрально протилежних точок кожної деталі, вимірювання довжин – біля 4 промаркованих діаметрально протилежних точок кожної деталі. Знежирення виконано за допомогою бензину «Калоша». Температура повітря та води – 21...22 °С.

Враховуючи максимальне водопоглинання поліаміду у перші 24 години занурення у воду, встановлений наступний часовий інтервал на вимірювання 3, 9, 23, 46 та 93 години після занурення. Результати експериментів наведені у таблиці 1, їх графічне відображення – на рисунку 3.

Таблиця 1 – Водопоглинання графітонаповненого поліаміду, %

Час від занурення у воду, годин	Підшипник (рис. 2, а)							
	маса, г	водопоглинання, %	діаметр D, мм	%	діаметр d, мм	%	довжина L, мм	%
0	24,12	0,00%	65,13	0,00%	40,18	0,00%	54,38	0,00%
3	24,16	0,17%	65,13	0,00%	40,14	-0,1%	54,41	0,06%
9	24,14	0,08%	65,14	0,02%	40,14	-0,1%	54,48	0,18%
22	24,17	0,21%	65,16	0,05%	40,16	-0,05%	54,59	0,39%
46	24,16	0,17%	65,14	0,02%	40,16	-0,05%	54,40	0,04%
93	24,18	0,25%	65,13	0,00%	40,14	-0,10%	54,52	0,26%

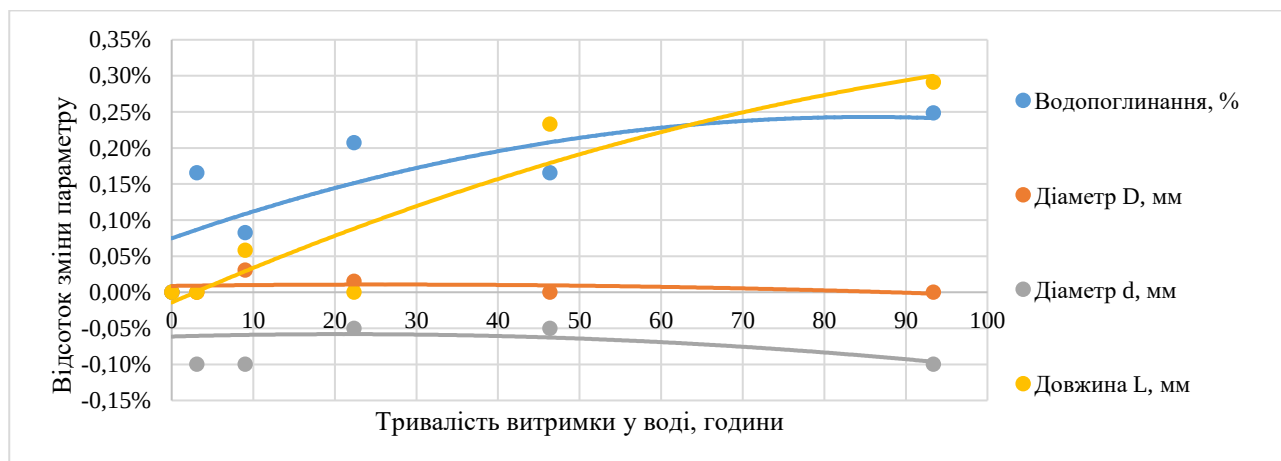


Рисунок 3 – Залежності маси та розмірів поліамідного зразка від часу занурення у воду

Узагальнюючи, можна констатувати наступне:

1. Водопоглинання графітонаповненого поліаміду - в межах 0,25 %.
2. Збільшення зовнішнього діаметру деталі майже відсутнє (до 0,05 %).
3. Зменшення внутрішнього діаметру трубчастої деталі до 0,1 %.
4. Збільшення довжини деталі в межах 0,3 %.

Графітонаповнений поліамід показує більшу стабільність розмірів, аніж чистий поліамід 6, у якого зміна розмірів під впливом води досягає 1...1,5%.

Література

1. Фільтри технічної води НВП ТОВ «Океанмашенерго» URL: <https://www.oceanmas.dp.ua/index.html> (дата звернення: 09.02.2025).
2. Кухар В.Ю. Досвід використання дисперсно зміцнених композитних матеріалів в конструкціях промислових фільтрів технічної води / Тези XXI Всеукраїнської науково-технічної конференції «Потураївські читання». 23 лютого 2024, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2024, 102 с, С. 21 URL: https://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/vibro/Тези_ПЧ_2024_1.pdf (дата звернення: 09.02.2025).

MODEL OF THE FOUNDATION OF A 300 MW TURBO-GENERATOR FOR STUDYING THE IMPACT OF STATIC AND DYNAMIC LOADS

Associate Professor T. Moskalova, Associate Professor M. Polushina
Dnipro University of Technology

Due to resource depletion, failure, and the need to increase turbo-generator capacity at thermal power plants in Ukraine, most need to be technically reequipped or modernized. This is especially relevant under current conditions. A significant portion of the turbo-generators to be modernized are those with a capacity of 300 MW.

Some changes in loads, as well as possible minor structural changes, can occur during the equipment replacement process during the reconstruction or at the design stage. Therefore, the stress-strain state of the foundation must be determined. For this purpose, a mathematical model of the frame foundation for the 300 MW turbo-generator was created to study its stress-strain state under static and dynamic loads.

Among organizations and authors that have been studying the stress-strain state of foundations for turbo-generators, a notable contribution has been made by the Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine.

The objective of the Study.

The development of a finite element model of the frame foundation for a 300 MW turbo-generator to study the effects of static, dynamic, and seismic loads on the distribution of stresses and displacements.

Main Part of the Work.

The foundation for the K-300-240+TGV-300 turbo-generator, a typical project by the TEP-SOYUZ, was considered. This foundation consists of a spatial monolithic frame structure, supported on a natural soil base through a massive reinforced concrete slab. A finite element model was developed for the SolidWorks Simulation software package. The mesh was built on volumetric finite elements in the form of tetrahedra with an element function represented as a polynomial with 24 degrees of freedom. The maximum and minimum edge lengths of the elements varied between 250 mm and 10 mm, depending on the model's size and the intensity of stress changes during calculations. The final element size was determined by comparing the calculation results at control points with a finer mesh (150 mm to 5 mm). The calculation results differed within the acceptable error margin, not exceeding 0.1%. Several verification tasks with known analytical solutions also confirmed the accuracy of the SolidWorks Simulation solution.

Elastic connections, with the stiffness coefficient $C_z = 25 \text{ MN/m}^3$ for loam, accounted for the soil's elastic properties. The bearing supports received static loads, accounting for the weight of the stator and rotor. Static loads also included those related to turbine heating. These loads were applied to the bearing supports along and across the axis of the foundation in the horizontal plane. Dynamic loads causing foundation vibrations are harmonic functions with a frequency equal to the rotor's rotational speed (3000 rpm), as well as twice the rotational frequency. These dynamic loads are caused by various factors, such as technological issues (mass imbalance, inaccuracies in manufacturing and assembly of the shaft line), and electrical process-

es occurring in the generator. Dynamic loads were applied to the bearing supports and were assumed to be 15%-20% of the rotor's weight at each support. The stator parts of the unit were traditionally modelled as concentrated masses attached to the foundation at the bearing support points. The effect of shaft vibrations on foundation vibrations at the rotational and double rotational frequencies is negligible and was not considered. The interaction between rotor and foundation vibrations is observed at frequencies of 200–350 Hz. The algorithm for calculating forced vibrations was implemented by establishing the foundation-base system's amplitude-frequency characteristics.

Figure 1 shows the 3D model of the turbo-generator foundation with loads (reference dimensions are in mm). The mass of the foundation itself is 6640 tons, the mass of the condenser without water is 335 tons, the mass of the turbine is 690 tons, and the total mass of the generator is 370 tons.

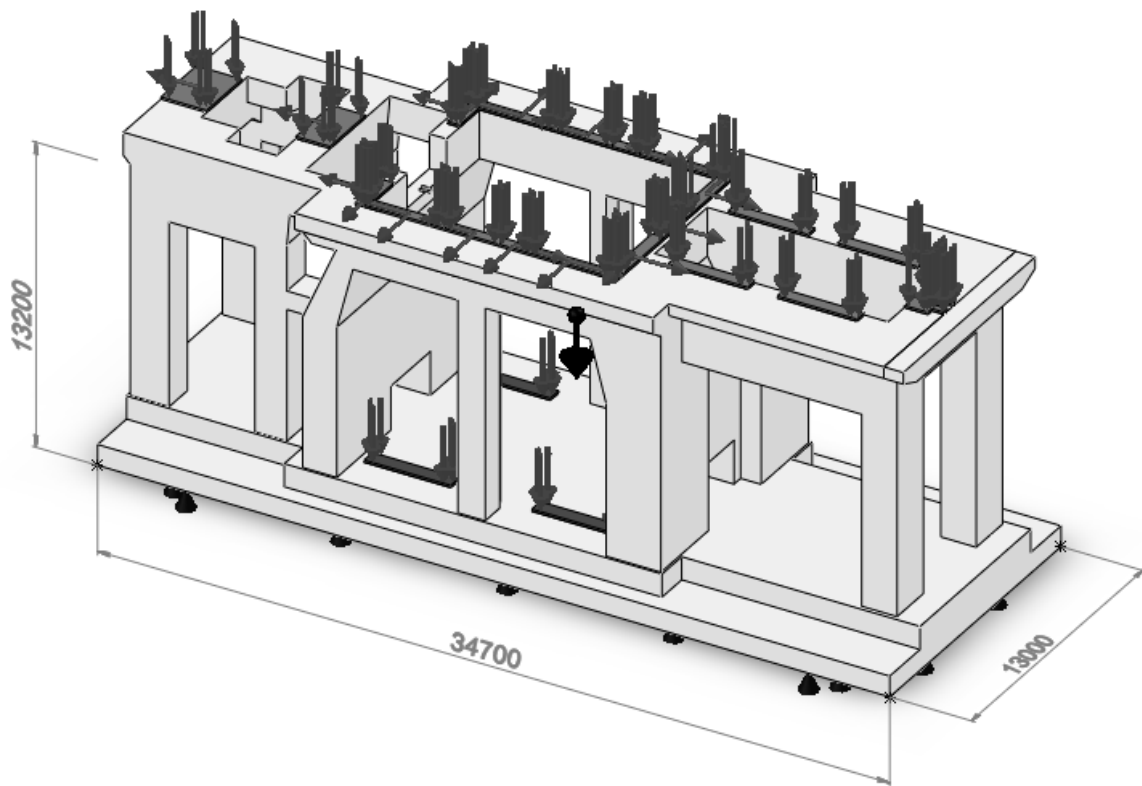


Fig. 1.

Conclusions.

A finite element model of the typical frame foundation for a 300 MW turbo-generator has been developed using the SolidWorks Simulation software package to study the effects of static and dynamic loads. The analysis of the foundation's stress-strain state proved that the numerical results of the vibration amplitudes obtained comply with the test results and are within building standards. The finite element model can be used to check the design of the turbogenerator foundation.

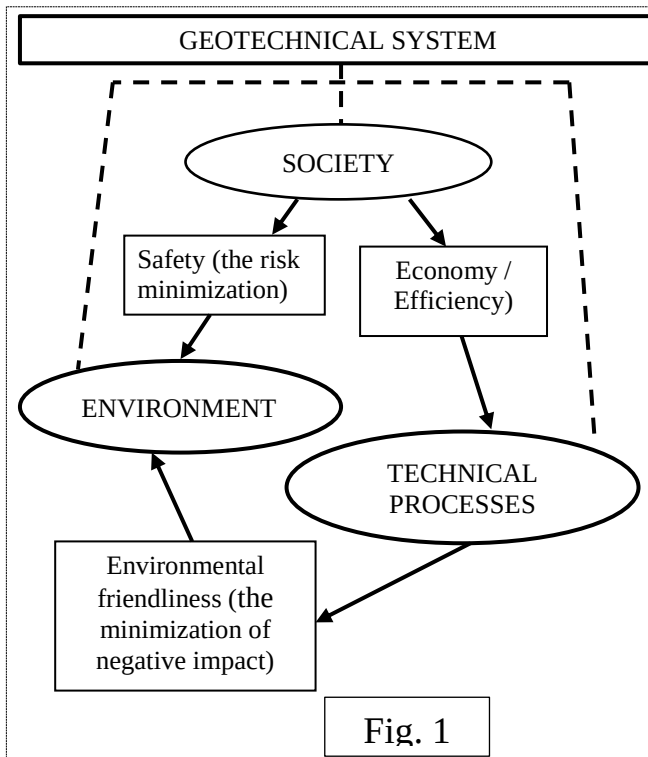
APPLICATION OF RISK-FORMALIZATION TO DETERMINE THE ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Fellow Ostapenko N.,

Senior Engineers: Kryuchkova S., Kyrychenko V., Bondarenko L.

M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics
of the National Academy of Sciences of Ukraine

The research of methods for managing potentially hazardous geotechnical systems should take into account man-made and environmental risk factors. Fig. 1 presents an enlarged structure of the main relationships in geotechnical system, which are include: the main components (society, technology, natural resources / environment), the main indicators of targeting, forecasting and management of technological processes of mineral deposit development.



In the industrial complex of Ukraine during the period of post-war recovery, the introduction of various technologies for the extraction of complex ores with impurities of such elements as rare earths, germanium, vanadium, scandium, tantalum, lithium, etc. is expected.

To determine the degree of man-made impacts on environmental components when assessing various technological processes of field development, the concept of risk is used [1]. The risk of the impact of planned activities on the environment is the probability of an event that has adverse consequences for the environment and caused by the negative impact of technological processes, emergencies of

a man-made or military nature. For these calculations, the algorithm proposed in [2] for determining the environmental component is used on the example of the methodology for assessing the impact of mining technologies of the development of deposits. Risk comparison is the essence of the methodology. The entire set of possible harmful impacts of a certain technological process on environmental components decomposed into relatively independent impacts. Continuing this decomposition to the smallest parts, the basic elements of the impact are determined, the characteristics of which are quite well studied. The characteristics of the basic elements that take into account in the calculation are the environmental risks (R_i^M) created by each of the four basic elements ("i") in the blocks: M_L – lithosphere and soils, M_H – hydrosphere, M_A – atmosphere, M_B – biota. Environmental risks defined as the product of the corresponding possible damage and the probability of its occurrence. Since all the

conditions for the development of deposits are quite certain, all dangerous impacts are almost reliably realized, that is, the basic elements are characterized by their losses (Q_i^M). Fig. 2 presents the structure of the algorithm for assessing the environmental component based on risk-formalization.

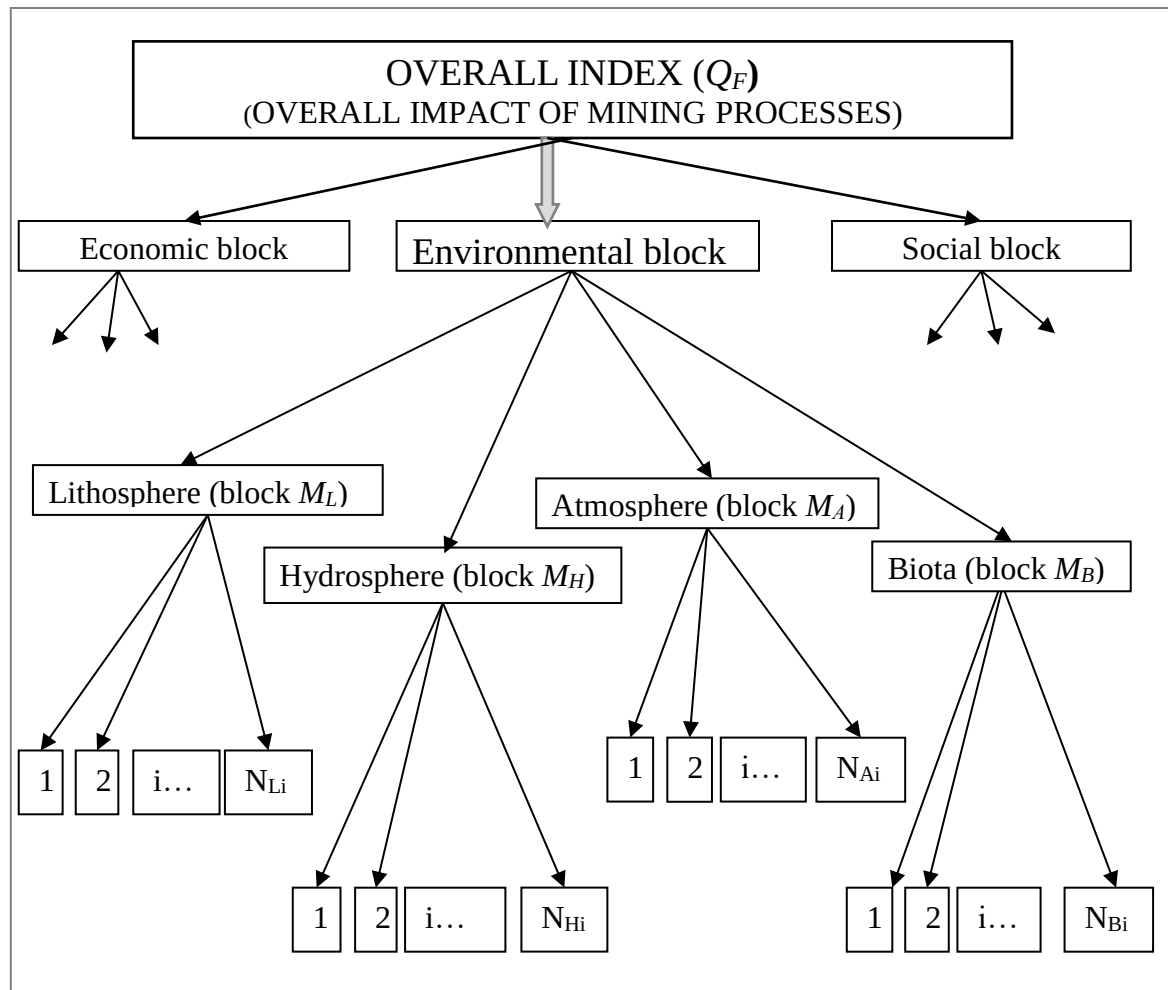


Fig. 2

Having found the full Q_F for all methods in a similar manner, one can compare all the found Q_F and find a suitable way to reduce the negative impact of the mining process. The main direction of further research is proposed to use an accessible assessment of environmental risks/damages (in the future, also economic and social) in order to study the possibilities of eliminating the negative impact of existing technologies of mining industry.

Literature

1. Lysychenko G.V. Natural, technogenic and ecological risks: analysis, assessment, management / G.V.Lysychenko, Yu.L.Zabulonov, G.A.Khmil. – Kyiv: Naukova Dumka, 2008. – 542 p.
2. Ostapenko N.S. Formalization of environmental assessment of mining enterprises / N.S.Ostapenko, S.V.Kryuchkova, V.A.Kyrychenko, L.V.Bondarenko // *Geotechnical problems of deposit development: materials of the XX Inter. Conf. of young scientists (October 27, 2022, IGTM NAS of Ukraine, Dnipro)*. – P.47-52.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛАСТОМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ ЗА ЗМІНОЮ ЖОРСТКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ

Лисиця М.І.¹, Новікова А.В.¹, Агальцов Г.М.¹, Лисиця Н.М.², Калганков Є.В.¹

¹ІГТМ НАН України, ²ДНУ ім. О. Гончара

Ускладнення машин і посилення вимог до них призвели до необхідності підвищення вимог до їх надійності та довговічності. В даний час в гірничих машинах, що працюють при тривалих циклічних навантаженнях (вібраційні машини – грохоти, живильники, млини; змішувачі, вентилятори, окомкувачі, дробарки та інші) однією з основних ланок, що визначають їх режим роботи, довговічність і надійність, є гумові та гумометалеві деталі [1].

Відповідно до сформульованих у [2-4] критеріїв відмов в якості основного параметра, відповідального за працездатність гумових деталей, може бути використаний коефіцієнт їх жорсткості. Спостережені зміни в часі жорсткісних параметрів гумових деталей, що складають для середньо- і сильнонаповнених гум до 50-60%, вимагають своєчасного прогнозування механічних властивостей елементів, особливо при їх використанні в резонансних машинах.

Критерієм відмови при цьому вважається вихід жорсткісних параметрів за межі допустимих – для заданих умов експлуатації

$$C(t) \leq C_{\max},$$

де $C(t)$ – значення жорсткості у момент часу t ; $C_{\max}$ – критичне значення жорсткості.

На основі аналізу експериментальних даних про зміну жорсткості в часі приймаємо її часову залежність у вигляді

$$C(t) = m + ht, \quad (1)$$

де m – початковий інтервал значень жорсткості, випадкова величина з нормальним законом розподілу; h – швидкість зміни жорсткості, випадкова величина з нормальним розподілом.

Показники надійності елементів у випадку (1) визначають наступним чином:

ймовірність безвідмовної роботи на задане напрацювання [2]

$$\begin{aligned} P(t=T) &= P(C \leq C_{\max}) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{C_{\max}} \exp \left[-\frac{(C - C_{\max})^2}{2\sigma_c^2} \right] dc = \\ &= 0,5 + \Phi \left[\frac{C_{\max} - \bar{m} - \bar{h}T}{\sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_h^2 \cdot T^2}} \right]; \end{aligned} \quad (2)$$

гамма-відсотковий ресурс [2]

$$t_\gamma = \frac{-A \pm \sqrt{A^2 + BC_0}}{B}, \quad (3)$$

де $\bar{m}$, σ_m , $\bar{h}$, σ_h – середні та середньоквадратичні значення випадкових величин m та h відповідно; Φ – табульована функція інтеграла ймовірності;

$$A = \frac{C_{\max} - \bar{m}}{\bar{h}}; \quad B = \frac{\chi_{\gamma}^2 \sigma_h^2}{\bar{h}^2} - 1; \quad C_0 = \chi_{\gamma} \sigma_m^2 - A^2,$$

χ_{γ} – квантили нормального розподілу, що відповідають ймовірності γ , при $\gamma = 90\%$ $\chi_{\gamma} = 1,645$.

Прогнозування показників надійності еластомерних деталей за зміною їх жорсткості розглянемо на прикладі зміни жорсткості елементів типу БГМ102 з гуми 51-1562, встановлених у різних вузлах віброконвеєра КВ2Т. У табл. 1 наведені значення жорсткостей C_1 , C_2 , C_3 відповідно трьом елементам.

Таблиця 1 – Зміна жорсткості елементів

$t \cdot 10^{-3}$, год.	C_1 , кН/м	C_2 , кН/м	C_3 , кН/м
0,0	197	250	249
1,5	221	277	256
3,0	235	286	270
4,5	238	297	273
6,0	239	300	274
9,0	239	300	275
12,0	239	300	275
15,0	239	300	275
18,0	239	300	275
21,0	239	300	275
24,0	239	300	275

Граничним значенням жорсткості у відповідності з критерієм руйнування взяте її збільшення на 20-25%: $C_{\max} = 312,5$ кН/м. Для числових даних табл. 1 отримуємо наступні значення параметрів: $m = 254,98$; $\sigma_m = 13,44$; $h = 0,00096$ і $\sigma_h = 0,212 \cdot 10^{-3}$.

Показники надійності визначаємо за формулами (2), (3), і в цьому випадку вони мають наступні значення: гамма-відсотковий ресурс $t_{\gamma=90\%} = 43023$ год.; імовірність безвідмовної роботи на напрацювання $T = 20000$ год. – $P(t = 20000) = 0,996$.

Отримані результати по оцінці надійності БГМ свідчать про високий рівень ресурсу, під час якого з великим ступенем імовірності зберігається їх працездатність.

Література

1. Еластомери у гірничій справі / А.Ф. Булат, В.І. Дирда, Є.Л. Звягільський [та ін.]. – К.: Наук. думка, 2016. – 384 с.
2. Дирда, В.І. Міцність та руйнування еластомерних конструкцій в екстремальних умовах / В.І. Дирда. – К.: Наук. думка, 1988. – 232 с.
3. Прикладна механіка пружно-спадкових середовищ: у 3-х томах / А.Ф. Булат, В.І. Дирда, Є.Л. Звягільський, А.С. Кобець. – Т. 1. Механіка деформування та руйнування еластомерів. – К.: Наук. думка, 2011. – 463 с.
4. Дирда, В.І. Механіка деформування та руйнування пружно-спадкових середовищ / В.І. Дирда, А.С. Кобець, А.А. Демидов. – Дніпропетровськ, 2009. – 587 с.

РИЗИК-АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ З ЕЛАСТОМЕРНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З ПОЗИЦІЇ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

Лисиця М.І., Новікова А.В., Агальцов Г.М., Калганков Є.В.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Лисиця Н.М.

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара

Досвід експлуатації складних технічних систем супроводжується випадками виникнення аварій з матеріальними втратами і можливими людськими жертвами. Об'єктивна неможливість повного виключення аварій призводить до постановки багатоаспектної проблеми техногенної безпеки [1-2]. Важливим елементом цієї проблеми є конструкційна безпека [3-5]. Конструкції є специфічним елементом захисту персоналу та навколишнього середовища від поразючих факторів, які містяться в технічних системах.

Попередження аварій з конструкційних причин вимагає цілеспрямованої роботи з вивчення обставин їх виникнення, виділення визначальних параметрів, оцінки граничних значень параметрів та діапазонів їх безпечних змін. До вирішення проблеми конструкційної безпеки в імовірнісному аспекті можуть бути застосовані чотири групи підходів: з позиції міцності, з позиції ресурсу, з позиції надійності, з позиції людського фактора при проектуванні, виготовленні захисних елементів та в процесі їх експлуатації.

Розробка базових положень ризик-аналізу захисних еластомерних конструкцій вимагає на основі механіки руйнування розробки критеріїв допустимого ризику, методу оцінки показників надійності [6]. Особливу роль при оцінці конструкційної безпеки захисних елементів з пружно-спадковими властивостями відіграє врахування технологічних дефектів при виготовленні, експлуатаційних пошкоджень у вигляді тріщин і зміна їх напружено-деформованого стану в процесі експлуатації під впливом різних факторів.

Однією з основних причин, що призводять до швидкого виходу з ладу гумових деталей, є їх руйнування внаслідок високої концентрації напружень, що виникають в окремих місцях. Причини появи таких концентрацій: технологічні та конструктивні. До технологічних відносяться такі концентратори, як різні тверді включення в суміші, що утворилися при вулканізації виробу, порожнечі, тріщини тощо. Їх можна усунути тільки за рахунок покращення технології виготовлення деталей. Конструктивні концентратори напружень виникають внаслідок неправильного проектування деталі та вузла навантаження в цілому.

Відомо, що гуми відносяться до в'язкопружних матеріалів і характеризуються великими оборотними деформаціями і суттєвою дисипацією. Захисні елементи на основі гум є тими елементами машин, в яких частина механічної енергії зовнішнього впливу перетворюється на теплову енергію і енергію, що йде на зміну структури самого елемента, тобто на його руйнування. У цьому випадку гумовий елемент як дисипативна ланка знижує якість енергії, перетворюючи механічну енергію в теплову. Сам процес дисипації енергії є необхідною умовою для виконання елементом захисних властивостей. При

цьому в гумовому елементі відбуваються незворотні зміни структури, пов'язані з її руйнуванням.

Слід наголосити на дуже важливому для механіки руйнування гуми факті: дисипація гуми зменшується аж до початку фази глобального руйнування, потім різко зростає. Саме в заключній фазі руйнування (особливо масивних елементів) і виявляється повною мірою той взаємозв'язок руйнування та дисипації, який спостерігається в локальних мікрооб'ємах матеріалу на протязі всього руйнування і який експериментально на сьогоднішній день може бути вивчений лише феноменологічно. Тобто про руйнування гуми слід судити не тільки за відмовою зразка (поділу його на частини або за іншими критеріями), але і за зміною фізико-механічних характеристик G та ψ , що характеризують еволюцію структури матеріалу.

Найбільш часто на практиці зустрічаються наступні види руйнування гумових (гумометалевих) елементів конструкцій.

Пружна деформація, спричинена дією зовнішніх навантажень та (або) температур – коли пружна (оборотна) деформація елемента стає настільки великою, що елемент втрачає здатність виконувати призначену йому функцію.

Термомеханічне руйнування відбувається переважно у масивних елементах при дисипативному розігріві.

Втомне руйнування характеризується зародженням втомних тріщин, їх розвитком і відмовою гумового елемента конструкції внаслідок досягнення ними критичних величин при вельми помірних температурах, а також старінням і втомою.

При руйнуванні випучуванням або пружній нестійкості процес руйнування супроводжується втратою стійкості елемента.

Теплове руйнування, або тепловий удар, відбувається у тому випадку, коли температура зовнішнього середовища призводить до різкої зміни властивостей матеріалу і навіть до його деструктування.

Руйнування внаслідок впливу зовнішнього активного (агресивного) середовища.

Література

1. Абракітов В.Е. Надійність технічних систем та техногенний ризик / В.Е. Абракітов. – Харків: ХНУМГ, 2014. – 67 с.
2. Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність / В.В. Березуцький, М.І. Адаменко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – 386 с.
3. Vychuzhanin A.V. Intelligent system for assessing and forecasting the risk / A.V. Vychuzhanin // Informatics and Mathematical Methods in Simulation. – 2022. – Vol. 12, No. 3. – Pp. 154-161.
4. Скрипник О.С. Безпека експлуатації будівель і споруд / О.С. Скрипник, М.Ю. Іващенко. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. – 106 с.
5. Васильченко О.В. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій / О.В. Васильченко, Ю.В. Квітковський, О.В. Миргород, О.А. Стельмах. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 488 с.
6. Булат А.Ф. Прикладная механика упругонаследственных сред: в 3-х томах / А.Ф. Булат, В.И. Дырда, Е.Л. Звягильский, А.С. Кобец. – Т. 2. Методы расчета эластомерных деталей. – К.: Наук. думка, 2012. – 616 с.

ТОНКЕ ВІБРАЦІЙНЕ ГРОХОЧЕННЯ – ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Провідний науковий співробітник, д.т.н., с.н.с. Лапшин Є.С.,
старший науковий співробітник, д.т.н., с.н.с. Шевченко О.І.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Накопичені за багато років промислові відходи мають унікальний мінеральний склад і часто складний, нехарактерний для природних родовищ розподіл корисних компонентів, по суті, техногенні мінеральні утворення, які виробляються у великих кількостях і, з одного боку, становлять серйозну екологічну небезпеку, з іншого – є цінною мінеральною сировиною для виготовлення різних матеріалів. Складність переробки відходів посилюється наявністю корисного компонента в різних класах крупності, збільшенням некондиційної частини у бік найбільш дрібних класів, підвищеною до 45% вологістю, відсутністю техніки та технології для переробки сировини зазначеної крупності, що призводить до актуальності пошуку рішень у цій галузі [1-7].

Євросоюз, США та Японія використовують одержувані з промислових відходів вторинні матеріальні ресурси на рівні 60-80 %, отримуючи 20 % всього алюмінію, 30 % – заліза, до 50 % – свинцю та цинку, 40 % – міді та інших корисних компонентів. Водночас рівень утилізації відходів в Україні та використання їх у вигляді вторинних матеріальних ресурсів становить у середньому 40 % від їх утворення, решта перебуває у відвалах та накопичувачах, створюючи напружену екологічну ситуацію [1-5].

На збагачувальних фабриках України є 39 шламонакопичувачів та 47 відстійників, які містять понад 170 млн т обводнених шламів (тонкозернистих відходів з крупністю частинок +0-5 мм) [3]. Середні цифри зольності 60 %, по суті техногенного родовища вугілля, при сучасному рівні техніки не можна називати відходами. Дослідження характеристик вугільних шламів низки накопичувачів показали, що, переважно, у міру зменшення крупності вміст зольної частини зростає, а максимум перебуває у класах розміром менше 0,1-0,2 мм. Тому для отримання з високозольних шламів продукту з високим вмістом вуглецю при нормативній зольності потрібен тонкий поділ по класу 0,1-0,2 мм, при цьому необхідно знизити вологість продукту на поверхні, що просіває, (надрешітний продукт) до кондиційних норм.

Під час спалювання вугілля *на теплових електростанціях (ТЕС)* в Україні щороку утворюються золошлакові відходи (ЗШО) у кількості 7...9 млн т (50...200 грамів на 1 кВт виробленої електроенергії). У відвалах ТЕС України накопичено 358,8 млн т ЗШО на площі близько 3170 га. Найбільший вид золошлакових відходів (75-80% від ЗШО) – летюча зола. В Україні золи вугільних ТЕС містять недопал (незгорілий вуглець) у кількості від 5 до 30%, що не дає можливості широкого використання золи, наприклад, у будівельній індустрії у великих обсягах (для бетонів – заборонено стандартами) [4]. Дослідженнями встановлено, що найвищий вміст вуглецю в золі знаходиться у класах крупності від -0,315 до +0,02 мм включно. Виконані експерименти

показують, що продуктами переробки летючої золи є силікатна частина та вуглець. Якщо відокремити з летучої золи класи +0,02 мм, можна отримати низькозольний вугільний концентрат для енергетики та силікатну частину, придатну для будівельної сфери.

На частку *металургії* припадає 38% загальних викидів промисловості України, у тому числі від чорної металургії – 16%. У *вугленідоготовчих цехах коксохімічних заводів* України щорічно одержують при відсаженні вугілля близько 3 млн т відходів переробки крупністю 0,5-80 мм і понад 0,7 млн т відходів флотації, які є глинистим шламом крупністю, в основному, менше 0,5 мм. Площа (близько 600 га) зайнята накопичувачами коксохімічних заводів, які забруднюють довкілля, щорічно збільшується на 2-3 га по кожному з підприємств [5].

Металургійне виробництво в Україні супроводжується утворенням величезної кількості промислових відходів, що сягає 30% обсягу випуску сталі. Шлами – одні з основних відходів металургійного комплексу. Загалом на металургійних підприємствах України накопичено понад 70 млн т шламів, з яких 21 млн т придатні для повторного використання. Наявність у шламах від 37 до 52% заліза та понад 6,5% вуглецю дозволяє розглядати їх як цінну металургійну сировину. Дослідженнями встановлено, що найвищий вміст заліза та вуглецю знаходиться у класах +0,02-0,6 мм. Якщо вилучити ці класи, можна отримати товарні продукти. Близько 70% шламу представлено частинками розміром понад 0,02 мм. В агломераційних шламах зустрічаються відносно великі частки (більше 3 мм) [5].

У процесі видобутку *будівельних матеріалів* (гранітного щебеню, мармуру та ін.) утворюється величезна кількість (сотні тисяч тонн) відходів (відсівів з розміром частинок +0-5 мм), вихід яких досягає до 35% від вихідного продукту. Широке використання відсівів стримується високим вмістом пилоподібних та глинистих включень (до 15-20%, за нормативних вимог не більше 3-3,5%). За наявності відповідних технологій їх переробки, для цього необхідно відокремити клас крупністю менше 0,16 мм, відсівви можуть заповнити дефіцит у піску необхідної якості [6].

Одним з найбільш безпечних для екології, ефективних та економічних методів є вилучення корисних компонентів шляхом поділу за крупністю – тонке вібраційне грохочення.

В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України) протягом останніх десятиліть ведуться роботи з вивчення властивостей та розробки техногенних родовищ, створення нових технологій та обладнання для їх переробки. Для цього в ІГТМ НАН України розроблено новий віброударний грохот для тонкої класифікації сухих сипучих матеріалів і пульп. Гранична крупність поділу сухих матеріалів становить 0,02 мм, для пульп – 0,05 мм. Для створення імпульсного впливу на поверхню, що просіває, і сировину, що переробляється, запропоновано використовувати режими з «подвійними ударами», коли за період збудження крім основного наноситься додатковий удар. За рахунок основного надрешітний продукт підкидається і під час його польоту поверхні, що просіває, повідомляється додатковий удар,

який підсилює її коливання. Внаслідок цього відбувається розрив капілярних містків і втрата стійкості менісків у комірці поверхні, що просіває – покращується процес поділу та зневоднення. Запропоноване рішення дозволяє ефективно переробляти тонкозернисті відходи шляхом відокремлення перспективних класів крупності з високим вмістом товарних продуктів та одночасно їх зневоднювати [7].

Разом з тим, як впливає з публікацій [1-7], техногенні відходи мають нестабільний хімічний, гранулометричний і речовинний склад, вихід класів крупності та вміст у них корисних компонентів також різний, що свідчить про неможливість використання результатів, отриманих по одному накопичувачу на інші. Також це вказує на необхідність створення та впровадження різних схем збагачення відходів. Тому перед розробкою накопичувача необхідно вивчити фізико-хімічні властивості компонентів, що утилізуються, і одержуваних товарних продуктів, розробити схему переробки та визначити перспективні напрями їх використання.

Переробка накопичувачів та відвалів дозволить скоротити матеріальні витрати на їх утримання, отримати додатковий прибуток від реалізації продуктів переробки техногенних відходів, покращити екологію навколишнього середовища та звільнити займані накопичувачами і відвалами земельні площі.

Література

1. Касимов А.М., Семенов В.Т., Щербань Н.Г., Мясоєдов В.В. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 510 с.
2. Лапшин Є.С., Шевченко О.І. Техногенні відходи України: оцінка їх негативного впливу на екологію, необхідність і можливості їх переробки шляхом тонкої класифікації та зневоднення. У книзі «Система управління відходами в циркулярній економіці: фінансові, соціальні, екологічні та енергетичні детермінанти»: монографія / за заг. ред. А. С. Росохатої, М. Г. Мінченко. – Суми: Сумський державний університет, 2023. – 313 с. – С. 18-27.
3. Курносоев А.Т., Приходченко В.Л., Осенний В.Я., Коваль Н.В., Ключев Э.С. Энерготехнологическая переработка низкосортных углей и отходов углеобогащения. Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. – Вип. 88. – С. 81-86.
4. Довгополов В.Н. Системы DalsicaTM газифицируют золу угольных ТЭС. Продукция – энергоносители, вяжущие для стройиндустрии и сорбенты очистки газов угольной энергетики, металлургии, ЖКХ. Академія будівництва України: Журнал «Будівництво. Наука. Проекти. Економіка. 2012, №31. С. 1-19.
5. Назюта Л.Ю., Косолап Н.В., Губанова А.В. Анализ сырьевой базы металлургического производства: Железорудные материалы. Металл и литье Украины. 2005. №9-10. С. 3-7.
6. Лапшин Є.С., Шевченко О.І. Узагальнення і надання основних відомостей про практичне застосування відходів видобутку та переробки граніту. Матеріали ХХІ міжнародної науково-технічної конференції «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (26 жовтня 2023 року, м. Дніпро). – Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2023. – С. 112-116.
7. Lapshyn Y. and Shevchenko O. Prospects for using screens with double vibration-impact excitation for size separation and dewatering of wet mineral raw materials that is difficult to classify. 2024) IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1348 012074, DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012074.

СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД ФЕРОДОМІШОК

Маланчук З. Р., д.т.н., проф., Корнієнко В. Я., д.т.н., проф.,
Лозін Д.А., директор НВФ «Продекологія» (м. Рівне),
Васильчук О. Ю., к.т.н., доцент, Христюк А. О., к.т.н., доцент
Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне

В процесі досліджень різноманітних сипучих матеріалів виникає потреба у вилученні залізовмісних магнітних домішок [1]. Реалізувати це можна за допомогою експериментально розробленого обладнання на підприємстві НВФ «Продекологія» (м. Рівне). Сепаратор (рис. 1) призначений для очищення сипучих матеріалів від феродомішок.

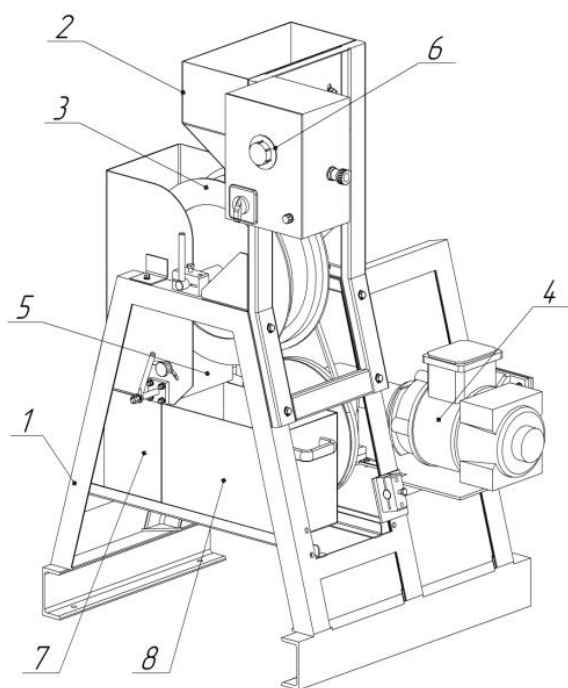


Рис. 1

Сепаратор складається з наступних основних частин: рама 1, завантажувальний бункер 2 з засувкою, барабан магнітний 3, мотор-редуктор 4, дільнийник 5, пульт керування 6, ємність збору феродомішок 7, ємність збору очищеного продукту 8.

Робота обладнання заснована на принципі поділу продукту, що сепарується, за магнітними властивостями.

Продукт подається в бункер 2. Засувкою регулюється подача продукту. З бункера продукт потрапляє на барабан 3. Обертання обичайки барабана відбувається за допомогою мотор-редуктора 4 через клино-пасову передачу. Під впливом магнітного

поля, створюваного нерухомою магнітною системою барабана, магнітні домішки з потоку продукту утримуються на обичайці та переміщуються разом з нею. При виході із зони дії магнітного поля, магнітні домішки, вилучені з немагнітного матеріалу, опадають у ємність для феродомішок 7. Немагнітний матеріал рухається природною траєкторією і потрапляє у ємність очищеного продукту 8.

Сепаратор дозволяє отримати очищений продукт і феродомішки. Зміною положення пластини ділильника 5 та частоти обертання обичайки магнітного барабану досягається необхідний вихід вказаних продуктів.

Література.

1. Malanchuk, Z.R., Khrystyuk, A.O., Stets, S.Ye. Semeniuk, V.V., Malanchuk, L.O. (2022). Substantiation of research results on energy efficiency of basalt crushing. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 41-46.
https://www.researchgate.net/publication/366582838_Substantiation_of_research_results_on_energy_efficiency_of_basalt_crushing

INNOVATIVE SELF-OSCILLATING WORKING PROCESSES FOR PROCESSING GRANULAR MATERIALS IN DRUM-TYPE TECHNOLOGICAL MACHINES

¹Higher category lecturer Deineka K.Yu.,

²Professor Naumenko Y.V., ²Student Zhabchyk S.V.

¹Rivne Technical Vocational College of

National University of Water and Environmental Engineering,

²National University of Water and Environmental Engineering

Drum-type machines are a fairly common type of technological equipment and constitute a wide class of multi-purpose machines. The widespread use of drum machines is due to a number of advantages: high unit productivity, reliability, ease of operation, versatility, and cost-effectiveness.

Based on the International Patent Classification, 9 classes of patents for inventions can be distinguished, corresponding to 9 main types of drum-type machines: B01J 2/12 Processes or devices for granulating materials in rotating drums; B01J 8/10, B01J 19/28 Chemical, physical or physico-chemical processes moved by rotary drums; B01F 29/60 Drum mixers; B02C 17/00 Disintegrating by tumbling mills; B03B 5/56 Drum classifiers; B07B 1/22 Sieving, screening, sifting, or sorting solid materials using revolving drums; B24B 31/02 Machines or devices designed for polishing or abrading surfaces on work by means of tumbling apparatus. Rotary barrels; F26B 11/04 Machines or apparatus for drying solid materials rotating about a horizontal or slightly-inclined axis; F27B 7/00 Rotary-drum furnaces. The most energy-intensive and common type of such machines are tumbling mills [1].

The main disadvantage of drum machines is low energy efficiency. It is believed that the mechanical efficiency of such processes is very low and is about 0.1-0.001%. This is caused by significant dissipation, absorption and conversion into heat, of mechanical energy due to internal friction of the granular chamber load. The mass fraction of the active part of the internal chamber loading is only 30-45%.

A paradoxical feature of drum machines is the combination of extreme simplicity of design, on the one hand, and extremely high complexity in describing the behavior of the processed medium, on the other. The latter is caused by the effect on the working environment of both the vertical gravitational and distorted centrifugal inertial force fields of rotation around the horizontal axis.

An innovative direction for dramatically improving the relatively low energy efficiency is the use of the self-oscillating recycling process in drum-type machines of traditional design solutions with a smooth chamber surface. Self-excitation of auto-oscillations allows to bring into periodic pulsating motion and activate the passive part of the intra-chamber filling and significantly increase the intensity of interaction of particles of the processed medium with the working bodies and the surrounding environment.

The first video recording of the self-oscillating mode of motion of a polygranular loading of a rotating drum (Fig. 1) was made in [2]. In [3], a mechanism for implementing the self-oscillating mode of the chamber loading flow was discovered when the stability of the dynamic system of the mill movement was lost

[4]. Based on the numerical data visualization method, the effects of the degree of filling of the chamber [5,6], the content of the crushed material in the load [7], and their simultaneous variation [8] on the parameters of the self-oscillating action and grinding characteristics were evaluated.

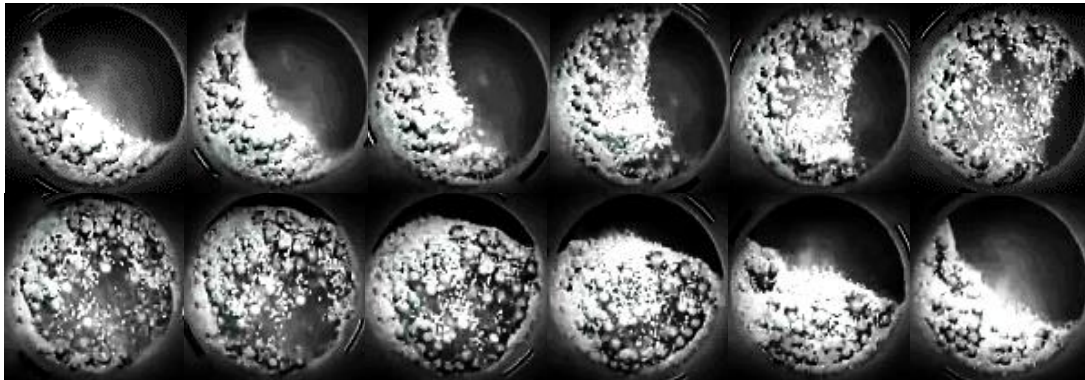


Fig. 1

A general dynamic effect of self-excitation of auto-oscillations of the granular loading of the rotating drum chamber was revealed: a decrease in the particle size and activation of the passive part, an increase in the fraction of the shear layer near the free surface, increased liquefaction of the layer, increased dispersion (dilatation), an increase in the velocity gradient between individual layers and an increase in the intensity of mutual intersection of the trajectories of particle motion, an increase in the frequency of mutual collisions of particles, a significant increase in the surface area of particle contact, improved contact between the solid, which is in a suspended pulsating state, and the gaseous or liquid phases, and prevention of the formation of a central core of particle size segregation.

Based on the results obtained, 9 self-oscillating processes for processing granular materials in drum machines were patented [9-17].

In the future, it is advisable to clarify the influence of different modes of self-excitation of auto-oscillations of the intra-chamber loading due to the loss of stability of motion on the efficiency of the implementation of processes for processing granular materials in drum-type machines.

Literature

1. Poturaev V. Y., Sokur N. Y. Melnytsy samoyzmelchenyia [Autogenous mills]. Kyev: Naukova dumka, 1988. 220 p.
2. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. <https://doi.org/10.3203/IWF/C-921>
3. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>
4. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability. Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018. Issue 1(163). P. 60–68. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>
5. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillating of the intrachamber fill. Eastern-European

- Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. Issue 1(97). P. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461>
6. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decrease in power intensity of self-oscillation grinding in a tumbling mill with decrease of intrachamber fill. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 6. Issue 7(102). P. 43–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291>
7. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 4. Issue 1(106). P. 39–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050>
8. Deineka K., Naumenko Yu. Establishing the effect of simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 1. Issue 1(109). P. 77–87. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948>
9. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154570 UA. Sposib hranuliuvannia zernystoho materialu v barabani [A method for granulating granular material in a drum]. MKP B01J 2/12. No. u20230234; declared: 17.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772317/>
10. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154571 UA. Sposib zmishuvannia zernystykh materialiv v barabani [A method for mixing granular materials in a drum]. MKP B01F 29/60. No. u202302393; declared: 17.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772392/>
11. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 154576 UA. Sposib promyvannia zernystoho materialu v barabani [A method for washing granular material in a drum]. B03B 5/56. No. u202302490; declared: 24.05.2023; published: 22.11.2023, Bul. No. 47, 2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1772369/>
12. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 155100 UA. Sposib klasyfikatsii zernystoho materialu v barabani [A method for classifying granular material in a drum]. MKP B07B 1/22. No. u202302425; declared: 22.05.2023; published: 17.01.2024, Bul. No. 3, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780373/>
13. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 155101 UA. Sposib teplovoi obrobky zernystoho materialu v barabani [A method for heat treatment of granular material in a drum]. MKP F27B 7/00. No. u202302507; declared: 25.05.2023; published: 17.01.2024, Bul. No. 3, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1780416/>
14. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V., Zhabchyk S. V. Pat. No. 157163 UA. Sposib haltuvannia detalei v barabani [A method for filleting parts in a drum]. MKP B24B 31/02. No. u202400950; declared: 25.02.2024; published: 11.08.2024, Bul. No. 37, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1817657/>
15. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157220 UA. Sposib sushinnia zernystoho materialu v barabani [A method for drying granular material in a drum]. MKP F26B 11/04. No. u202400966; declared: 26.02.2024; published: 18.09.2024, Bul. No. 38, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1818458/>
16. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157608 UA. Sposib provedennia heterohennoho protsesu z zernystym materialom v barabannomu reaktori [A method for conducting a heterogeneous process with granular material in a drum]. MKP F26B 11/04. No. u202400954; declared: 26.02.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826073/>
17. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. Pat. No. 157646 UA. Sposib podribnennia v barabannomu mlyni iz avtokolyvnym vnutrishnokamernym zavantazhenniam [A method for grinding in a drum mill with self-oscillating intra-chamber loading]. MKP B02C 17/00. No. u202403236; declared: 19.06.2024; published: 06.11.2024, Bul. No. 45, 2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1826100/>

РОЗВИТОК ЗАГРОЗ ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ В УМОВАХ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ

Провідний інженер Мінко О.Ю.,

молодший науковий співробітник Рябко А.І.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Найбільший внесок в забруднення гідросфери в умовах прояву екзогенних процесів незалежно від причин їх виникнення спричиняє забруднення підземних вод, в т.ч при карстових процесах, які зустрічаються в районах розповсюдження розчинних порід. За горно-геологічними дослідженнями на 24% території України ці процеси можуть безпосередньо впливати на господарську діяльність.

Унікальною властивістю карстових водообмінних систем є прогресуюче зростання структурної неоднорідності геологічного середовища і неоднорідності фільтраційних і фізико-механічних властивостей порід в результаті активізації і інтенсифікації циркуляції вод в розчинних породах. Ці специфічні особливості карстових регіонів визначають значну схильність до забруднення підземних вод, особливо в областях живлення, які зазвичай простираються далеко за межі охоронних зон водозборів. Тому оцінку загрози забруднення підземних вод в карстових регіонах з певною мірою допущення умовно можна розповсюдити на оцінку забруднення гідросфери в цілому і запропонувати універсальну методику для районів відкритого і закритого карсту з урахуванням зони швидкої фільтрації.

Практично усі методи оцінки уразливості, захищеності і забруднення підземних вод в карстових районах є індексно-рейтинговими та базуються на Словенському методі, який є основою однойменної методики, реалізованої в європейських проектах COST Action 620 (Daly et al. 2002; Zwahlen 2004).

Згідно з цією методикою розраховується уразливість ресурсу підземних вод для карстових умов, яка визначається як похідна трьох показників: властивість покриву (О), концентрація стоку (С) і режим опадів (Р). Крім того додаються показники: К, який враховує час проходження забрудника карстовою системою, включаючи фреатичну зону (зону повного насичення), та $K_{\text{техн}}$ - коефіцієнт впливу антропогенної діяльності.

Адаптація базового методу до карстових і природних умов виражається в наступному: додається оцінка епікарстової зони до показника "О"; додається оцінка факторів концентрації стоку, найбільш характерних для цього регіону в зоні швидкої фільтрації в показник "С" (карстових воронок, понорів, печер, розломів); введена оцінка показника режиму атмосферних опадів, що враховує середньорічну кількість опадів, а також їх частоту, тривалість та інтенсивність. Уразливість ресурсу і загроза забруднення мають споріднене трактування і знаходяться в одній шкалі рейтингового нормування.

Комплексний показник "О" включає оцінку факторів захищеності підземних вод, які обумовлюють затримку потенційних забрудників і зниження можливості їх забруднення за рахунок перекриваючих шарів. Перекриваючі шари розташовані вище за зону повного насичення та включають вміщуючі

карстуючі породи і покривні відкладення (O_L), епікарст (O_e) і ґрунтовий покрив (O_s). Оцінка фактору ґрунтового покриття (O_s) здійснюється з урахуванням його потужності, структури (суглинні, глинисті, піщані), ухилів і положень на різних елементах рельєфу. Потужність ґрунтового покриття оцінювалася окремо для вершинної платоподібної та схилової частин масиву.

Комплексний показник літологія (O_L) розраховується для кожних окремих шарів з умовно-однорідними властивостями проникності та визначається множенням значень проникності на потужність і коефіцієнт напірних умов, як і в словенському методі. Чисельна оцінки епікарстової зони O_e аналогічна як для показника ґрунтового покриття, але окремо виділяють ділянки з т.з. фільтраційними дірами і відповідною оцінкою 0 і некарстовою зоною з оцінкою 5.

Підсумкові результати оцінки показника "О" отримуються методом складання факторів O_s , O_L і O_e та рейтингового ранжирування площ та відображаються в О-карті, яка відбиває ступінь захищеності підземних вод. При рейтинге 1-1,9 показник захищеності дуже низький, відповідно до 2-2,9 - низький, 3-4,9 - середній, 5-7,9 - високий, 8-15 – дуже високий. Усі інші показники розраховуються за аналогічним принципом з урахуванням своїх структурних особливостей.

Показник «С» характеризує концентрацію поверхневого і підземного стоку, тобто факторів, що знижують захищеність підземних вод: C_d - карстові воронки (осередок інфільтрації); C_p -понори (очаги інфлюації безпосереднього поглинання періодичного руслового стоку); C_{rb} - русловий стік (з розподілом на русла постійних водотоків, на тальвеги тимчасових водотоків і на тальвеги, що замикаються на понори); C_{cc} - замкнуті водозбори; C_{sv} - ухили поверхні і рослинність. Нововведенням є розширена класифікація рослинного покриття (окремо оцінюються ділянки з корінним лісом і ділянки із штучними лісопосадками). У базовій словенській методиці не враховуються фактори концентрації поверхневого стоку в зоні аерації. Адаптована методика враховує цей недолік за рахунок додаткових факторів: C_f - значні тектонічні порушення (розломи); C_{cv} - карстові порожнини (печери). Комплексний показник "С" розраховується перемножуванням факторних значень C_d , C_p , C_{rb} , C_{cc} , C_{sv} , C_f і C_{cv} . Результати оцінки виражаються в С-карті, що отримується при рейтинговому ранжируванні площ. Вона відбиває міру уразливості (зниження захищеності) підземних вод за рахунок факторів поверхневої та підземної концентрації стоку в умовах карсту.

Показник "Р" відображає режим опадів і впливає на швидкість інфільтрації і руху підземних вод, а отже на транспортування забрудників до водоносного горизонту. У базовій методиці враховуються два чинники: P_{rd} - кількість днів з опадами інтенсивністю від 20 до 80 мм/доб та P_{se} - кількість днів з екстремальними опадами (понад 80 мм/доб).

Показник "К" характерний тільки для карстових умов, що є відмінною особливістю методики від базової словенської. Цей показник відображає переважно латеральний рух підземних вод в насиченій зоні до джерел або свердловин. Цей показник включається в оцінку та картування уразливості на виході підземних вод ("повній" уразливості).

Вищезазначені показники відображають природні фактори, які впливають на загрозу забруднення підземних вод, а отже і гідросфери в цілому. Але на території України розташовані техноекосистеми із значними площами порушених земель та матеріально-енергетичними потоками, прикладом якої є басейн Дніпра, де розташовані найбільш потужні підприємства різних галузей: металургійні, гірничо-добувні, хімічні, будівельні тощо. Зазначені підприємства порушують значні площі земель і суттєво впливають на екологічну ситуацію районах їх розташування.

Врахування впливу антропогенної діяльності найбільш доцільно здійснити через однойменний коефіцієнт – $K_{\text{техн}}$. Цей вплив найбільш помітно виявляється в коригуванні показників, які зменшують захищеність підземних вод та збільшують загрозу забруднення: концентрація стоку (C), властивості ґрунтового покриву (O_s), водоутримуюча здатність епікарсту- показник (O_e). Порушені площі при відкритому способі розробки збільшують осередок інфільтрації, що можливо прирівняти до збільшення площі карстових воронок (C_d), рослинний покрив замінюється суглинками, об'ємні складування відходів акумулюють опади, тим самим збільшуючи їх надходження до підземних джерел.

Оцінка уразливості ресурсу підземних вод та висновки

Дуже високою уразливістю підземних вод характеризуються місцевості русел річок, що проходять карстуючими породами. До ареалів найменшої уразливості відносяться території схилів з некарстуючою основою та з відсутністю річкової і балочної мереж, що пояснюється значною захищеністю підземних вод цих районів внаслідок низьких фільтраційних характеристик порід (глин, піщаників, мергелів), що їх складають. Відносно низькою уразливістю водоносних горизонтів також характеризуються пологі ділянки типу плато з низькою концентрацією або повною відсутністю карстових форм рельєфу (поверхневих і підземних) та мережі балок та ярів. На цих ділянках в найбільшій мірі проявляються захисні властивості ґрунту і епікарсту та факторів концентрації стоку. Результати такої оцінки є основою територіального управління і встановлення адекватного режиму охорони ресурсів карстових вод в цілому (включаючи режим у значній області живлення), окремих джерел і водозаборів [1, 2].

Література

1. Дублянський В.Н., Дублянська Г.Н. Карстоопасность на Украине // Гидрогеология и карстование. Катастрофы и аварии на закарстованных территориях. – Пермь, 1992. – 159 с.
2. Шестопалов В.М., Климчук А.Б., Токарев С.В., Амеличев Г.Н. Оценка уязвимости подземных вод районов открытого карста (на примере массива Ай-Петри, Крым) // Спелеология и карстология, - № 2. – Симферополь. – 2009. – С. 11-29.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН В КРІПКИХ І НАДКРІПКИХ ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ

Професор Мінєєв С.П., професор Калугина Н.О.,
доцент Ганкевич В.Ф., провідний інженер Уколова Т.М.

ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

старший викладач Лівак О.В.

Український державний хіміко-технологічний університет

Старший викладач Кіба В.Я.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

При видобутку корисних копалин завжди першою операцією є буровибухова. Від продуктивності цієї операції залежить і подальший шлях переробки корисних копалин, продуктивність і собівартість кінцевої продукції підприємства. Згідно літературних джерел (5), собівартість буріння свердловин на відкритих розробках (в кар'єрах) складає від 16 % до 36% загальної собівартості вилучання 1т. гірничої маси.

Крім механічного буріння обмежене використання знаходять термічне, гідравлічне і вибухове буріння свердловин.

Вибір того чи іншого способу буріння залежить від фізико-механічних властивостей порід: густини, міцності, абразивності, буримості, тріщинуватості, подрібнення та інші.

Найбільше досконалішим способом механічного буріння досягається верстатами обертального буріння шарошковими долотами і складає до 82,5 % від всіх бурових робіт.

На продуктивність буріння і енерговитрати (електричні, теплові [дизельні], пневматичні, гідравлічні) впливають і способи виділення продуктів руйнування (шлаків) з зони руйнування породи-стислим повітрям, повітряно-водяної сумішшю.

Із зростанням коефіцієнта кріпості породи від 6 до 20 одиниць по класифікації М.М. Протодьяконова зростають витрати на буровий інструмент з 15% до 75%.

Все це підтверджує недосконалість технологій буріння інструменту, потребує нових розробок.

В ІГТМ НАН України розроблені нові технології механічного буріння кріпких і особливо кріпких гірських порід та інструмент для його виконання.

Впровадження цих розробок дає можливість суттєво підвищити швидкість буріння і строк служби інструмента, зниження енергоємності процесу і собівартості буріння.

Рекомендовано шарошкове буріння поверхні забою особливої конфігурації, яке полягає в тому, що окремими шарошками створюють випереджаючий кільцевий вруб в кутковій зоні вибою. Свердловини і потім виконують послідовно скіл породи останньої поверхні забою іншими шарошками на вільну бокову поверхню врубів послідовно виникаючих виступів по висхідній до центру вибою.

Як відомо скіл породи на вільну бокову поверхню потребує в 4-5 разів менше витрат енергії на руйнування порід у порівнянні з виколом на горизонтальній площині тому що руйнування йде по лінії дотичних напружень.

Крім того порода руйнується більш великою фракцією і не має непотрібного переподрібнення породи в пісок і пил при утворенні лунок, як це виникає при бурінні існуючими долотами.

Це сприяє зниженню навантаження на буровий інструмент, підвищує в 2-3 рази швидкість буріння і ізносостійкість бурового інструменту.

Слід відзначити, що найбільш слабким місцем в шарошкових долотах є підшипниковий вузол, який складається з несучих роликів та замкових кульок. Ролики тримають головне навантаження на бурове долото яке в середньому складає 1000 кг на кожний сантиметр діаметра долота. Замкові кульки утримують шарошку на цапфі і також сприймають частину навантаження. В процесі роботи шарошок з боку породи забою виникають пікові навантаження від реакції забою які перевищують робоче навантаження долота в 3-4 рази, що потребує значного запасу міцності тіл котіння підшипників. Крім того підшипники в шарошкових долотах працюють в важких умовах по температурному режиму тобто погано охолоджуються. Так охолодження водою в багатьох випадках неможливе по наступним причинам: постачання води в місце буріння свердловин потребує додаткового обладнання: тобто проведення трубопроводів, установки насосів, фільтрів і т. і., використання води приводить до затоплення свердловин, шахтних виробок, кар'єрів. Виникає необхідність видалення води із свердловин (для закладки вибухових речовин), шахтних виробок, кар'єрів, що потребує відстійників, фільтрів насосів, трубопроводів і т.і. Все це значно здорожує буріння свердловин тому в багатьох випадках для видалення продуктів руйнування із свердловини і охолодження підшипників шарошок використовують стиснуте повітря. Але стиснуте повітря має підвищену температуру і порівняно невелику теплоємність тому підшипникові вузли шарошок нагріваються під час роботи до 200- 300⁰ С що значно зменшує їх ресурс роботи через що долото виходить з ладу раніш ніж відбудеться знос зубків. Для вирішення проблеми охолодження і передчасного зносу підшипників шарошок автори пропонують наступні нові технічні рішення:

1. Використовувати несучими тілами котіння та замковими – конічні ролики замість циліндричних роликів та кульок. Це дозволить розподілити та зменшити навантаження на тіла котіння та зменшити їх знос.

2. Забезпечити достатнє охолодження підшипників наступним чином: в шарошкове бурове долото вставляють розподільчу втулку якою створюють герметичну порожнину в середині бурової штанги, герметично приєднаної до долота, яку заповнюють водяною емульсією. В торцевій стінці розподільчої втулки є капілярні отвори напроти каналів в цапфі які ведуть до підшипників. Через ці капілярні отвори водяна емульсія в крапельному режимі стікає в канали охолодження шарошок в цапфі і разом з потоками стиснутого повітря попадає в підшипники де випаровується забираючи значну частину тепла. Разом з цим мастило що є в водяній емульсії зменшує сили тертя котіння і також випаровуючись охолоджує підшипник шарошки.

Для реалізації даного способу буріння розроблена нова конструкція шарошкового долота, яка має велику несущу здатність опору і кращу систему охолодження підшипників, що значно підвищує їх строк служби [1,2,3,4].

Література

1. Патент UA 147768 E21B 10/36 опубл. 09.06.21. Бюл.№ 23 “Долото бурове шестишарошкове”, Мінєєв С.П., Антончик В.Є.
2. Патент UA 147393 E21B 10/08 опубл. 05.05.21. Бюл.№ 18 “Спосіб буріння свердлоин в міцних гірських породах”, Антончик В.Є., Ганкевич В.Ф., Пащенко О.А., Лівак О.В.
3. Форум гірників -2018, Коефіцієнт перекриття вибою свердловини при бурінні твердосплавного коронкою нового покоління. А.А. Кожевников, В.Л. Хоменко. С.175-182.
4. Повышение эффективности скользящего воздействия шарошек на породу за счет применения механического вибраторов А.А. Кожевников, Д.В. Чернишев, Збірник наукових праць НГУ, 2018,с. 159-166.
- 5 Бондаренко А.О. Гірничі машини для відкритих гірничих робіт: навч. посібник/ А.О. Бондаренко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.- Д: НГУ, 2017.2017 с.

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ У ЩОКОВИХ ДРОБАРКАХ ЗІ СКЛАДНИМ РУХОМ ЩОКИ

Аспірант Авраменко С.О., аспірант Лайков Д.В.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

к.т.н. Маліч М.Г.

Дніпропетровський металургійний інститут УДУНТ

Енергоефективність процесу дроблення залежить від фізико-механічних властивостей руйнівного матеріалу та вибору параметрів процесу, де основними чинниками є умови прикладання навантаження та характер руху рухомої щоки. Процес дроблення та просування роздроблених шматків по висоті камери дроблення в щоккових дробарках залежить від кінематичних особливостей механізму приводу рухомої щоки.

Енергоефективне руйнування шматка породи відбувається за умови, коли перевищення межі міцності на зсув відбудеться раніше, ніж на стиск. Зсувне стиснення забезпечують сили тертя між породою та бронеплитами за рахунок тангенціального навантаження від рухомої щоки. Максимальне дотичне напруження можна вирахувати при визначенні зусилля дроблення (напруження стиску) та коефіцієнта тертя за залежністю $\tau_{max} = f \sigma_c$. При зсувному стисканні руйнування породи відбудеться коли $\tau_{max} > k$ – межі опору зсуву.

В технічній літературі [1,2,3] можна виділити групу дробарок, у яких траєкторія руху рухомої щоки змінена за допомогою різних конструктивних прийомів, які забезпечують приблизно постійну величину ходу стиснення по всій висоті камери подрібнення та максимальне тангенціальне навантаження.

Ідея таких конструктивних рішень зводиться до створення однакового колового, або еліпсоїдного руху рухомої щоки по всій її довжині.

Характерним прикладом такої дробарки є дробарка з ексцентриковими приводними валами [4], у якій коловий рух верхньої частини щоки забезпечується обертанням одного ексцентрика, а круговий рух нижньої частини щоки також відбувається за рахунок колового руху, що наводиться другим ексцентриком.

Продуктивність такої дробарки більша, ніж у традиційних з розпірною плитою через, однак через складність виготовлення та експлуатації вона не отримала поширення. Але наведена щоква дробарка з коловим рухом рухомої щоки по всій її довжині теоретично потребує значно меншої (в середньому у 1,7 раз) потужності з урахуванням витрат на тертя для дроблення гірської породи при всіх однакових показниках розмірів камери та умов дроблення ніж традиційна щоква дробарка з простим рухом щоки [5].

Тому пошук нових кінематичних схем для забезпечення ефективного зсувного навантаження при дробленні твердої гірської породи є актуальним завданням подальших досліджень.

Література

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
2. Блохин В.С., Большаков В.И., Малич Н.Г. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: Учебное пособие, ч.1. Днепропетровск: ИМА-пресс. 2006. 404с.
3. Bearman, Richard Ted. Jaw and Impact Crushers. SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook, 2019, 367.
4. Масленников, В. А. Дробилки, разрушающие материал сжатием. Известия вузов. Горный журнал 10-11. 1996. с 124-138. А.Г.
5. Никитин, В.И. Люленков, А.В. Витушкин, Н.Д. Калюкина. Сравнительный анализ работы щековых дробилок с различными кинематическими схемами. Известия вузов. Черная металлургия. 2012. №10. с 30-31.
6. Маліч М.Г., Катан В.О., Лайков Д.В., Авраменко С.О. Теорія і практика металургії. 2024р. Порівняльний аналіз продуктивності та потужності процесу дроблення стискуванням та зсувним навантаженням у щоквих дробарках з простим та з паралельно-коловим рухом щоки.

АНАЛІЗ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ МОДЕЛЕЙ СТІЙКОСТІ УКІСНИХ СИСТЕМ

Молодший науковий співробітник Рябко А.І.,
провідний інженер Мінко О.Ю.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Чисельні методи вирішення задач коефіцієнту стійкості природно-техногенних укісних споруд (схилів, бортів кар'єрів, відвалів, дамб гідроспоруд та ін.) залежать від теоретичних засад та математичних моделей, що покладені в основу стійкості укісних масивів. У даний час усі методи визначення коефіцієнту стійкості можна розділити на три основних напрямки: методи граничного стану на основі попередньо заданих поверхонь ковзання; методи граничного стану з розрахунковими поверхнями ковзання (так звані проміжні методи); методи теорії твердого деформованого тіла.

Багато методів першого напрямку ґрунтуються на моделі Моргенштерна-Прайса [1], що приводить до рішення системи лінійних рівнянь, одне з них задовольняє загальну рівновагу моментів, інше — загальну рівновагу горизонтальних сил. Рівняння коефіцієнта стійкості по Моргенштерну-Прайсу, щодо рівноваги моментів та рівноваги горизонтальних сил, мають такий вигляд:

щодо моментів:

$$k_{s_M} = \frac{(\sum N_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum c_i l_i) R}{\sum G_i x + \sum N_i f}, \quad (1)$$

щодо горизонтальних сил:

$$k_{s_F} = \frac{(\sum N_i \operatorname{tg} \varphi_i \cos \alpha + \sum c_i l_i \cos \alpha)}{\sum N_i \sin \alpha}, \quad (2)$$

де c — зчеплення; φ - кут внутрішнього тертя; N - нормальна реакція опори, G - вага відсіку; α - кут укосу; R, f, x — плечі сил; i - індекс розрахункового відсіку.

При використанні методів граничної рівноваги інженерного типу, як правило, використовуються методи вирішення систем лінійних та нелінійних рівнянь. Серед яких слід відзначити традиційний метод виключення типу Гауса для систем лінійних рівнянь та метод Ньютона для нелінійних рівнянь. Загалом можливе використання найбільш універсального методу вирішення як лінійних так і нелінійних систем рівнянь на оптимізаційних основах. Загальна ідея методу для систем лінійних рівнянь

$$\min_{\bar{x} \in D} F = \sum_i^n f_i^2(\bar{x}), \quad (3)$$

для систем нелінійних рівнянь

$$\min_{\bar{x} \in D} F = \sum_i^n f_i(\bar{x}), \quad (4)$$

де $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – вектор незалежних змінних; D – область обмежень незалежних змінних; $f_i(\bar{x})$ – вектор приведених функцій системи лінійних рівнянь.

Досягнення рішення здійснюється за допомогою ітераційної процедури градієнтного пошуку типу Коші

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} - \alpha^{(k)} \nabla F(x_i^{(k)}), \quad (5)$$

де $\alpha^{(k)}$ – позитивний параметр, що визначається на кожній ітерації k ;

$\nabla f = \left[\frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right]$ – вектор – градієнт функції, що мінімізується.

У випадку використання методів другого напрямку, що займають проміжне положення між методами граничного стану та методами теорії твердого деформованого тіла [2], застосовуються способи вирішення звичайних диференціальних рівнянь. Прикладом подібного типу рівнянь є

$$C \cdot (y'(x))^2 - \gamma \cdot (H(x) - y(x)) \cdot y'(x) + \gamma \cdot f \cdot (H(x) - y(x)) + C = 0, \quad (6)$$

де $H = H(x)$ – функція поверхні укосу, $y = y(x)$ – шукана функція – лінія зсуву; dx – ширина вертикального відсіку; $h = H(x) - y(x)$ – висота відсіку; C – зчеплення у масиві; $f = \tan \rho$, ρ – кут внутрішнього тертя; γ – питома вага ґрунту.

Аналіз показує, що аналітичного рішення подібні нелінійні диференціальні рівняння не мають. Для вирішення звичайних диференціальних рівнянь можливі чисельні методи (Ейлера, Адамса, Рунге-Кутта, Мілна та ін.) та чисельно-аналітичні рішення (метод розкладання в ряди, метод послідовних наближень Пікара, операційні методи та ін.) [3].

Визначення коефіцієнту стійкості методами третього напрямку, тобто теорії твердого деформованого тіла у плоскій та просторовій формі, вимагає вирішення системи рівнянь у часткових похідних (РЧП). У зв'язку зі складностями отримання точного аналітичного рішення для таких систем основними методами отримання результатів є чисельні процедури. До найбільш використовуваних чисельних методів вирішення РЧП є метод кінцевих різниць та метод кінцевих елементів [4,5]. Кожен з цих методів зводить крайову задачу в РЧП до рішення задачі системи лінійних або нелінійних рівнянь. Метод кінцевих елементів вважається більш загальним. Метод кінцевих різниць є окремим випадком методу кінцевих елементів у разі коли у якості базового кінцевого елемента застосовується чотирикутник.

Процедура дискретизації в методі кінцевих елементів має певну специфіку. На першому етапі укісна система декомпозується за допомогою деякої сітки на окремі фрагменти кінцевих розмірів, які називають кінцевими елементами. Сітку призначають з урахуванням геометричних та структурних властивостей системи, а також виходячи з попередньо прийнятої схематизації її елементів (основа, шари порід, підкріплюючі конструкції тощо). Точки перетину ліній сітки є вузлами кінцевих елементів. Задаються глобальна, для усього об'єкту, та місцева (локальна), пов'язана з кінцевим елементом, системи координат.

Наступний етап дискретизації, що має математичний характер, полягає в апроксимації шуканої функції, наприклад, переміщення за допомогою кінцевого числа вибраних локалізованих координатних функцій. Такі функції відмінні від нуля лише порівняно у невеликій (порядку кроку сітки) області системи, а поза її тотожно рівні нулю. Для отримання рівнянь статки в переміщеннях для пружної конструкції, представленої у вигляді системи кінцевих елементів, зазвичай використовують варіаційний принцип Лагранжа або еквівалентну йому умову мінімуму повної енергії.

Повна енергія кожного елемента перетворюється на глобальні узагальнені переміщення у вузлах даного елемента і за допомогою підсумовування по усім елементам повна енергія об'єкту має вид

$$E_f = \frac{1}{2} r^T K r - r^T R, \quad (8)$$

де K и R – представляють симетричну матрицю жорсткості та вектор узагальнених сил для системи в цілому; r - глобальні узагальнені переміщення вузлів елементів.

З умови варіації енергії отримується рівняння для закріпленої системи:

$$K r = R, \quad (9)$$

Після вирішення рівняння далі за наведеними вище формулами можуть бути визначені деформації та напруження в елементах системи.

В основі динамічного аналізу лежить кінцево-елементне рішення рівняння руху наступного виду:

$$[K]\{u\} + [D]\{v\} + [M]\{a\} = \{R\}, \quad (10)$$

де u – вектор зміщень; v - вектор швидкостей; a – вектор прискорень; $[K]$ - матриця жорсткості; $[D]$ - матриця згасання коливань; $[M]$ - матриця мас; $\{R\}$ - вектор вузлових сил.

Перехід до визначення впливу на коефіцієнт стійкості (відповідно екобезпеки) відбувається за допомогою за допомогою визначення коефіцієнта зменшення допустимих напружень на стиск SRF (SRF – Stress Reduction Factor). Рішення отриманої системи варіаційних лінійних або нелінійних рівнянь можливо вищевказаними методами.

Література

1. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов. М.: Стройиздат, 1988. 240 с.
2. Голуб, В. В. Обґрунтування методу розрахунку стійкості бортів кар'єрів, які формуються у масиві гірських порід складної структури [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.09 / Голуб Віталій Васильович ; Національний гірничий ун-т. - Д., 2004. - 20 с.
3. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975. - 392 с.
4. Dawson, E.M., Roth, W.H. and Drescher, A. (1999) Slope Stability Analysis by Strength Reduction. *Geotechnique*, 49, 835-840. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.6.835>
5. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ НА ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТРУБОПРОВІДНИМИ СИСТЕМАМИ З КІЛЬЦЕВИМ ЕЖЕКТОРОМ

Ст. наук. співр. Рябцев О.В., ст. наук. співр. Пономаренко С.М.,
ст. наук. співр. Кабакова Л.Б.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України

До основних технологічних параметрів транспортування трубопровідними системами з кільцевим ежектором відносяться дальність транспортування, питома витрата повітря на переміщення одиниці маси або об'єму матеріалу, що транспортується, а також швидкість руху аеросуміші.

Процес пневмотранспортування гірської породи трубопровідними системами ежекторного типу має свої характерні особливості, що вимагає окремого підходу до їх розгляду. Специфіка цього процесу полягає в наступному:

- у наявності потоку аеросуміші, що ежекується з атмосфери, що складається з атмосферного повітря і потоку породи, що завантажується в установку;
- у присутності на початку транспортного трубопроводу (у зоні змішування ежекторного пристрою) за фізичною сутністю трьох фаз аеросуміші: потоку стиснутого повітря, що ежекується, і потоків повітря, що ежекуються, і частинок породи;

- у неоднорідності фракційного складу твердої фази, що транспортується.

Збільшення дальності пневмотранспортування обладнанням даного типу при збереженні інших параметрів пневмотранспортування призводить до припинення процесу ежекування та утворення зворотного потоку аеросуміші. Ця обставина обумовлена збільшенням загального опору транспортного трубопроводу. Це збільшення пов'язано як зі збільшенням довжини ставу транспортного трубопроводу, так і зі збільшенням кількості аеросуміші, що знаходиться в ньому. Максимально можлива дальність пневмотранспортування ежекторними установками гірської породи визначається за такою формулою [1]:

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{об}} \left\{ 2 \frac{P_0 - P_L}{\rho_{\Sigma} u_{c,cp}^2} \left[\frac{\rho_{\Sigma} S_{mp}}{\rho_c S_c} (1 - \alpha_{mp}) \right]^{2/3} - \zeta \right\}. \quad (1)$$

За умови припинення ежекування повітря з атмосфери на основі закону збереження маси справедлива рівність $\rho_{\Sigma} S_{mp} (1 - \alpha_{mp}) u_{\Sigma,cp} = \rho_c S_c u_{c,cp}$.

З урахуванням цього співвідношення (1) може бути подане у вигляді:

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{об}} \left[2 \frac{P_0 - P_L}{\rho_{\Sigma} u_{c,cp}^2} \left(\frac{u_{c,cp}}{u_{\Sigma,cp}} \right)^{2/3} - \zeta \right] = \frac{D_{mp}}{f_{об}} \left[2 \frac{P_0 - P_L}{\rho_{\Sigma}} \frac{(1 - \chi_e)^{4/3}}{u_{\Sigma,cp}^2} - \zeta \right], \quad (2)$$

де $\chi_e = 1 - u_{\Sigma,cp} / u_{c,cp}$ – коефіцієнт розсіювання енергії ежекуючого потоку стисненого повітря [2].

Для забезпечення стійкого режиму пневмотранспортування гірської породи у зваженому стані швидкість повітря у транспортному трубопроводі ВПМ повинна задовільняти умові [3]:

$$u_{\Sigma, cp} \geq c \sqrt{\mu_m g D_{mp} \frac{(\rho_m - \rho_{\Sigma})}{\rho_{\Sigma}}}, \quad (3)$$

де c – дослідний коефіцієнт, який приймається при пневмотранспортуванні гірської породи $0,2 - 0,35$.

Приймаючи в умові (3) знак рівності, співвідношення (2) матиме вигляд:

$$L_{mp} = \frac{D_{mp}}{f_{об}} \left[2 \frac{(P_0 - P_L)(1 - \chi_e)^{4/3}}{c^2 \mu_m g D_{mp} (\rho_m - \rho_{\Sigma})} - \zeta \right]. \quad (4)$$

Узагальнений (інтегральний) коефіцієнт опору руху аеросуміші, що входить у рівність (4), визначається як [1]:

$$f_{об} = \lambda + c_{\mu} \varphi^2 \mu_m. \quad (5)$$

Для визначення коефіцієнта λ з достатньою для інженерних розрахунків у теорії пневмотранспортування точністю пропонується емпірична залежність, отримана в ІГТМ НАН України з використанням даних, наведених у роботі [3]:

$$\lambda = -0,04 D_{mp} + 0,022, \quad (6)$$

Значення коефіцієнта аеродинамічного опору c_{μ} знаходиться у дуже широкому діапазоні: від 0,5 для частинок кулястої форми до 1,4 для частинок неправильної форми [2]. У деяких випадках із допустимою для інженерних розрахунків точністю можна приймати $c_{\mu} = \psi$ – безрозмірному коефіцієнту опору.

Чисельне значення цього коефіцієнта може бути приблизно визначено за наступною залежністю [4]:

$$c_{\mu} = 5,31 - 4,88 \Omega, \quad (7)$$

де Ω – коефіцієнт сферичності, який приймається для пневмотранспортування гірської породи $0,8 \leq \Omega \leq 1$ ($\Omega = 1$ відповідає часткам породи кулястої форми).

З урахуванням рівностей (5) – (7) рівняння (4) набуде вигляду:

$$L_{mp} = \left[2 \frac{(P_0 - P_L)(1 - \chi_e)^{4/3}}{c^2 \mu_m g (\rho_m - \rho_{\Sigma})} - \zeta D_{mp} \right] / \left[0,022 - 0,04 D_{mp} + \mu_m (5,31 - 4,81 \Omega) \varphi^2 \right]. \quad (8)$$

На рис. 1 представлені розрахункові залежності питомої об'ємної витрати повітря та дальності пневмотранспортування гірської породи від концентрації аеросуміші у транспортному трубопроводі вібропневмотранспортної машини (ВПМ) з кільцевим ежектором. Цей вид пневмотранспортного обладнання протягом тривалого часу розробляється ІГТМ НАН України для реалізації на гірничодобувних підприємствах технологій ведення гірничих робіт із закладенням виробленого простору [1].

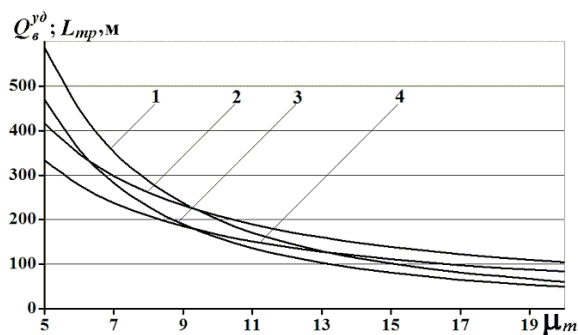


Рис. 1.

1 і 4 – відповідно дальність пневмотранспортування (L_{mp}) та питома витрата повітря (Q_{yo}^e) для $\rho_m = 2,0 \text{ т/м}^3$; 2 і 3 – відповідно питома витрата повітря (Q_{yo}^e) і дальність пневмотранспортування (L_{mp}) для $\rho_m = 2,5 \text{ т/м}^3$

Як впливає з аналізу представлених на рис. 1 залежностей, у діапазоні щільності гірської породи від $2,0$ до $2,5 \text{ т/м}^3$ при пневмотранспортуванні породи з максимальним розміром шматка 80 мм та забезпечення тиску стисненого повітря в кільцевому ежекторі ВПМ $0,25 \text{ МПа}$ справедливі наступні закономірності:

- раціональне значення масової концентрації аерозуміші (за питомою витратою стисненого повітря) знаходиться в діапазоні від 15 до 20 ;
- дальність транспортування для цих значень концентрації аерозуміші становить від 60 до 120 м , а питомі витрати повітря становитимуть від 120 до 80 м^3 на 1 м^3 породи, що транспортується.

Аналіз залежностей (4) та (8) показує, що дальність пневмотранспортування гірської породи ВПМ з кільцевим ежектором збільшується:

- у разі збільшення на $0,1 \text{ МПа}$ тиску, що підводиться до встановлення стисненого повітря, – до 70% ;
- при зменшенні до 10% розсіювання енергії потоку стиснутого повітря, що ежекує, – від 5 до 10% ;
- при зменшенні до 10% коефіцієнта відносної швидкості руху аерозуміші – від 10 до 20% .

З аналізу залежностей дальності пневмотранспортування гірської породи від концентрації аерозуміші в транспортному трубопроводі ВПМ з кільцевим ежектором (залежності 1 і 3 на рис. 1) впливає, що в діапазоні значень $15 \leq \mu_m \leq 20$ ці залежності носять ступеневий характер $L_{mp} = a(\mu_m)^b$. При цьому величина достовірності апроксимації дорівнює 1 , а коефіцієнти апроксимації рівнянь a і b залежать як від виду матеріалу, що транспортується, так і від конструктивних і технологічних параметрів роботи установки.

Література

1. Механика вибрационно-пневматических машин эжекторного типа / В.Н. Потураев, А.Ф. Булат, А.И. Волошин [и др.]. – Киев: Наукова думка, 2001. – 176 с.
2. Ярмоленко Г.З. Пневматические турбины и струйные аппараты горных машин / Г.З. Ярмоленко. – М.: Недра, 1977. – 117 с.
3. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
4. Пономаренко С.Н. Механика движения закладочного материала в вибрационных пневмотранспортных установках эжекторного типа / С.Н. Пономаренко // Техника и технология горного производства. – Киев: Наукова думка, 1992. – С.87–95.

РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЮ ПЛАЗМОЮ

М.н.с. Осіння Н.В.

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України

При створенні плазмотронів для породоруйнівних органів підземних гірничих машин ІГТМ НАН України було вирішено низку завдань, пов'язаних з теоретичними та експериментальними дослідженнями термодинамічних процесів у плазмових струменях, ресурсних та енергетичних характеристик, режимних та конструктивних параметрів [1].

Виконаний комплекс досліджень плазмотронів і процесів руйнування корисних копалин дозволив розробити плазмотрони, які працювали в лабораторних і промислових умовах [2-4]. Створено експериментальні зразки нетоксичних плазмотронів, які можна використовувати при проходці горизонтальних виробок і віялових свердловин до 15 м. На стенді за допомогою секційного плазмотрона відпрацьовувалися три види плазмохімічних систем: повітряна низькотемпературна плазма, повітряно-водяна плазма та повітряно-парова плазма. У промислових умовах працювали однокамерні плазмотрони з газовихревою стабілізацією дуги для розширення низхідних свердловин та компенсаційних свердловин при проходці піднятєвих виробок в породах міцністю $f = 14-20$ за шкалою М. Протодьяконова. У плазмотроні застосовувалися промислові катоди, а аноди виготовлялися в промислових умовах шахти. Робота катодів при струмі 230 – 250А становила 8 - 24 години, а анодів – 200 - 250 годин.

Перспективним є плазмотрон на парі. Особливості роботи плазмотрону на парі. Додавання водяної пари до повітряної плазми збільшує ступінь конверсії молекулярного азоту. Парціальний тиск молекулярного і атомарного азоту зменшується за рахунок складних сполук, інтенсивність утворення яких залежить від температури. Оптимальна добавка водяної пари до повітря є ефективним способом зменшення вмісту азоту у плазмі [3]. Створення джерел перегрітої пари з оптимальними параметрами та мінімальним часом виходу на режим дозволяє стабілізувати положення дуги в каналі та покращити систему запуску водяної плазми, підвищити енергетичні показники електродугового плазмотрона та створити екологічно чисті плазмові технології.

1. Булат А.Ф., Никифорова В.А., Осенний В.Я. Повышение эффективности буровзрывных работ // Вісник КДПУ. -2006. – Вып. 2.- С. 93-94.

2. Алымов Б.Д., Холявченко Л.Т., Осенний В.Я. Исследование параметров теплообмена в плазмотроне с вихревой стабилизацией дуги водяным паром / конф. по генераторам низкотемпературной плазмы / Тезисы докладов Часть 3. – 1982. – С. 72-75;

3. Осенний В.Я. Электродуговой плазмотрон – рабочий орган горных машин нового поколения // УСИБ.-2015. – № 2. – С. 14-21.

4. Valentyn Osinnii, Natalia Osinnia, Combined technology for developing quartzites using plasmatrons / 6nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. -Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2023. – p. 136-138.

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ НА ПРИКЛАДІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Д-р техн. наук, с.н.с. Медведєва О.О., аспірантка Гальченко З.С.,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) стає глобальною світовою тенденцією у зв'язку з постійним ростом цін на традиційні енергоносії (нафту, газ, вугілля, тощо), їх обмеженою кількістю і великим потенціалом альтернативних джерел енергії (сонце, вітер, тощо).

У 2019 році Україна входила у ТОП-10 країн світу за темпами розвитку ВДЕ, а у 2020 році – ТОП-5 європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики. У рейтингу Climatescope від Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg NEF) у 2019 році Україна займала 8 місце (піднявшись з 63-го) серед 104 країн світу за інвестиційною привабливістю країни саме у питанні розвитку низько вуглецевих джерел енергії і будівництва «зеленої» економіки. У 2021 році, Україна була на 48 місці за загальним інвестиційним потенціалом держави серед 136 країн світу в рейтингу Bloomberg NEF [1]. Після 24 лютого 2022 року цінність ВДЕ значно зросла. Якщо раніше розвиток ВДЕ був інструментом боротьби зі зміною клімату та скороченням викидів вуглецю, то сьогодні це ще є запорукою енергетичної безпеки та розвитку економіки України.

Можливі нетрадиційні джерела енергії знаходяться на різних стадіях освоєння, однак найбільше застосування отримали сонячна і вітроенергетика.

Вітроенергетика залишається другою після сонячної енергетики в Україні.

Щоб ефективно використовувати енергію вітру, потрібно мати наступні характеристики вітру: середньорічна швидкість вітру; річний і добовий хід вітру; повторюваність швидкостей вітру; повторюваність напрямків вітру; розподіл за тривалістю вітрових періодів і періодів його відсутності; максимальна швидкість вітру; питома потужність і питома енергія вітру; вітроенергетичні ресурси району [1, 2].

Головним джерелом вихідних даних для створення вітроенергетичного кадастру є спостереження гідрометеослужби за швидкістю вітру.

Дані про середньорічні швидкості вітру є основною характеристикою загального рівня інтенсивності вітру. За цим показником можна попередньо оцінити доцільність використання вітроенергетичних установок у певному регіоні. Проте слід враховувати, що швидкість вітру залежить від рельєфу місцевості, шорсткості поверхні, наявності перешкод та висоти над рівнем землі. Для коректного порівняння середніх швидкостей вітру їх слід приводити до єдиних умов – відкритої рівнинної місцевості на висоті 10 метрів. У більшості кліматичних зон України вітровий потенціал зростає зі збільшенням висоти порівняно з показниками на рівні 10 метрів: на висоті 30 м – в 1,5 рази; на висоті 60 м – в 2 рази; на висоті 100 м – в 2,5 рази.

Прикладні показники вітроенергетики визначаються на основі специфіки вітрового режиму певної території та технічних параметрів вітроенергетичних установок.

Кліматичний потенціал вітрової енергії характеризується питомою потужністю вітру в певний момент часу та її сумарною величиною за різні періоди (місяць, сезон, рік). Для цього використовуються дані про середню швидкість вітру та її межові значення (мінімальну й максимальну швидкість, при яких генератор залишається в робочому стані).

До ключових прикладних характеристик вітрової енергії належать:

- утилізована енергія вітру, що враховує втрати на запуск руху, регулювання агрегату та вимкнення вітроколеса;
- розподіл повторюваності робочих швидкостей вітру – важливий параметр, що визначає продуктивність вітроагрегата залежно від швидкості вітру за певний період;
- тривалість періодів енергоактивної швидкості вітру;
- тривалість енергетичного штилю.

Ці параметри використовуються для аналізу ефективності роботи вітроенергетичних установок і прогнозування їх продуктивності.

Наприклад, найбільш поширеними є вітроенергетичні установки (ВЕУ) з горизонтальною віссю обертання турбіни, які ефективно працюють у зонах із сильними вітрами. Вони починають виробляти електроенергію при швидкості вітру від 8 м/с, а повноцінно функціонують за швидкостей понад 12–14 м/с. Проте для регіонів із помірними вітровими умовами (3–13 м/с) доцільніше використовувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

Таким чином, враховуючи особливості певної території, можна обирати вид ВЕУ для ефективного їх використання. Доцільно використовувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання, які здатні працювати за низьких швидкостей вітру. Вони можуть бути розміщені на техногенно порушених землях, непридатних для рекультивації та подальшого сільськогосподарського використання. Також перспективним є використання відвалів порід розкриття (Кривбас), тому що, як говорилося вище, сила вітру зростає із висотою. Порівнюючи показники вертикальних та горизонтальних ВЕУ при їх розташуванні на відвалах отримано результати, що ефективність вертикальних ВЕУ зростає в 13,4 рази [2].

Застосування ВДЕ, зокрема ВЕУ, є одним із найперспективніших напрямків розвитку енергетики в Україні. Можливості для їх впровадження є не тільки в регіонах із високою швидкістю вітру, а й по всій країні. Ефективність залежить від конструктивних особливостей ВЕУ та місця їх розташування.

Література.

1. В. Омельченко, Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни, Разумков центр, 2022 – [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>. – Дата доступу: 03.02.2025.
2. Kopach P.I., Yakubenko L.V., Mormul T.M., Danko T.T., Gorobets N.V., Halchenko Z.S. Assessment of natural resource potential of territories disturbed by mining works in the context of effective use of post-technogenic landscape. Geo-Technical mechanics Interdepartmental collection of scientific works. 2022. Issue 162. PP. 38-47

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КЛАСИФІКАТОРІВ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., аспірант Черкашин М.О.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Бойові дії, викликані агресивною війною російської федерації проти України призводять до значних руйнувань як інфраструктурних об'єктів так і житлових будинків. Тільки за офіційними даними з 2022 по 2024 рік було пошкоджено чи зруйновано більше 143 тис. приватних і понад 24 тис. багатоквартирних будинків. Враховуючі руйнування, які зазнали окуповані населені пункти, офіційні дані що яких відсутні, доцільно припустити, що кількість пошкоджених чи зруйнованих будівель стане значно більшою.

Відомо, що при будівництві одного 9 поверхового чотирьохпід'їзного будинку використовується приблизно від 5 до 12 тисяч тон бетону, а при будівництві монолітного будинку це до 17 тисяч тон бетону. За мінімальними оцінками загальний об'єм техногенної сировини, утвореної при руйнуванні вказаної кількості багатоквартирних будинків, може скласти 120 млн. тон. З урахуванням всієї кількості пошкоджених чи зруйнованих споруд такі оціночні об'єми сировини можуть бути значно більшими.

На сьогодні таку сировину, за можливості її доставки, зберігають, в основному на полігонах будівельних відходів та спеціальних звалищах (Рис. 1).



Рис. 1 – Полігон будівельних відходів в м. Київ

Таке складування, окрім збільшення площ самих полігонів, несе також екологічну небезпеку для навколишнього середовища. При цьому особливо небезпечними є дрібнодисперсні та пилюваті частинки з таким відомим впливом на середовище:

- забруднення повітря. Найдрібніші частинки пилу можуть потрапляти в атмосферу та переноситись вітром на великі відстані, що несе великий ризик респіраторних захворювань;
- забруднення води. Цементний пил при контакті з водою підвищує її рН, що може негативно вплинути на місцеві водні екосистеми;

- вплив на ґрунти та рослинність. Запилення або засолення ґрунтів, зниження біорізноманітності, так як пил може призводити до загибелі мікроорганізмів, що підтримують родючість ґрунтів;

- загроза здоров'ю людей та тварин. Дрібний пил потрапляє в легені і може викликати запалення, алергію та онкологічні ризики, проблеми з травленням.

При переробці такої техногенної сировини будуть отримані значні об'єми наповнювачів та будівельних матеріалів додатково до зменшення екологічного навантаження. Після переробки вказану техногенну сировину доцільно застосовувати:

- при будівництві доріг. Використовується як основа під асфальт або бетонне покриття;

- при виготовленні нового бетону. Вторинний бетон – можна додавати у свіжий бетон для виготовлення несучих конструкцій із частковою заміною природних наповнювачів;

- при виробництві будівельних сумішей;

- при виготовленні будівельних виробів: бордюри, газобетонні блоки, тротуарна плитка, будівельні панелі для тимчасових споруд тощо;

- при будівництві шумозахисних та антиударних бар'єрів.

Переробку такої техногенної будівельної сировини, до круності зерен 5 мм, виконують з використанням відомих і апробованих типів дробильно-сортувального обладнання: щоківі, конусні, відцентрові, роторні дробарки тощо, а також колосникові, інерційні, самобалансні й інші грохоти.

Слід зазначити, що найскладнішим етапом переробки будівельної техногенної сировини буде класифікація відсівів що мають крупність меншу за 2...5 мм, а також їх очищення від пиловатих класів.

З широкого різноманіття різних типів обладнання для класифікації такої, сильно забрудненої пилом сировини можна віднести механічні, відцентрові, гравітаційні й інші гідравлічні класифікатори.

В практиці класифікації будівельних матеріалів широкого застосування набули гідравлічні чи гідродинамічні класифікатори, що промивають тверді частинки під дією струминних потоків води. Вказані типи апаратів показують високу ефективність класифікації, простоту конструкції, експлуатації, ремонту і обслуговування при мінімальних витратах що визначає перспективи їх застосування.



Рис. 2 – Вертикальний класифікатор

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУ ПІДВОДНОГО СКРЕПЕРНО-ВСМОКТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОДУКТИВНІСТЮ 30 Т/ГОД

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., студент Богачик Д.В.

НТУ «Дніпровська політехніка»

Технології розробки підводних родовищ корисних копалин активно розвиваються з середини ХХ століття під впливом невинного вичерпування ресурсів суходолу. Підводний або гідромеханізований видобуток окремих видів корисних копалин таких як рудні і нерудні піски показує значну перевагу такого способу виймання і транспортування як по показникам технологічності так і по собівартості над відкритим способом видобування. Однак при видобуванні зв'язних, глинистих та мулистих порід сучасні технології підводного видобутку не можуть конкурувати з традиційними відкритими способами розробки. Запропонована концепція підводного скреперно-всмоктувального комплексу покликана підвищити ефективність підводного видобутку зв'язних порід, що є актуальною науково-технічною задачею.

Концепція підводного скреперно-всмоктувального комплексу, в першу чергу, може бути застосованою до розробки родовищ сапропелів. Сапропелевий мул – осадова порода водойм, яка являє собою товстий шар перегною з органічних речовин та гумусу. Сапропелі використовують в сільському господарстві, промисловості, медицині тощо. Сапропелевий мул залягає як в невеликих прісноводних водоймах, так і на дні морів, наприклад Чорного моря.

Сучасні технології підводної розробки осадових порід спираються на два підходи: перший – використання механічних снарядів, обладнаних черпаковими виконавчими органами; другий – застосування землесосних снарядів, обладнаних ґрунтовими насосами і різного типу ґрунтозабірними пристроями. Такі механічні та землесосні снаряди зарекомендували себе як працездатні системи, які однак мають принципові недоліки при застосуванні в складних умовах підводного видобутку, наприклад при розробці зв'язних порід.

Перший спосіб спирається на застосування одно- та багатоківшевих виконавчих органів, що дозволяє розробляти складні гравійні та навіть глинисті ґрунти. Однак такі технології вимагають додаткового застосування транспортного обладнання, що значно здорожує видобуток.

Другий спосіб полягає у застосуванні ґрунтових насосів для видобування і гідротранспортування осадових порід у складі пульпи. Технологія є доволі ефективною при розробці родовищ незв'язних пісків. Проте ефективність застосування її знижується при розробці зв'язних порід через складність підтримання високої концентрації пульпи.

Основною відмінністю запропонованого підводного скреперно-всмоктувального комплексу є поєднання двох означених способів розробки з метою започаткування нової концепції розробки підводних осадових порід, перевірки працездатності запропонованого рішення.

Підводний скреперно-всмоктувальний комплекс являє собою систему видобутку і транспортування, яка складається зі скреперного коробу 1, всмоктувального патрубку 2, ґрунтового насосу 3, понтону катамаранного типу 4, лебідки робочого ходу 5 та лебідки холостого ходу 6. Комплекс також передбачає наявність плавучого пульпопроводу, що призначений для гідротранспортування видобутої корисної копалини до відвалу (рис. 1).

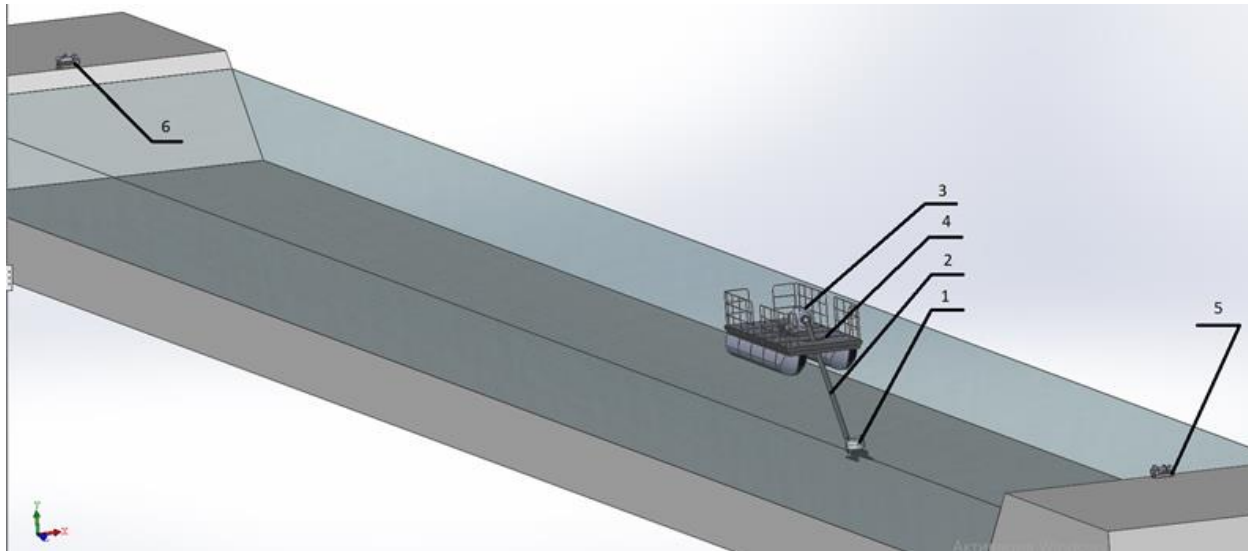


Рис. 1. Підводний скреперно-всмоктувальний комплекс продуктивністю 30 т/год:

- 1 – скреперний короб; 2 – всмоктувальний патрубок; 3 – ґрунтовий насос;
4 – понтон катамаранного типу; 5 – лебідка робочого ходу;
6 – лебідка холостого ходу

Підводний скреперно-всмоктувальний комплекс має таку технологію роботи: лебідка робочого ходу 5 закріплена на березі, підтягує скреперний короб 1, при цьому скреперний короб занурюється в ґрунт на визначену глибину, що обмежують і регулюють конструктивними елементами, під час руху ґрунт заповнює скреперний короб і перемішується з водою; ґрунтовим насосом 3, розташованим на понтоні катамаранного типу 4, утворену суміш транспортують усмоктувальним патрубком 2 до ґрунтового насоса, а потім напірним трубопроводом до складу. Після підтягування скреперного коробу 1 до берега, де розташована лебідка робочого ходу 5, останню вимикають разом з ґрунтовим насосом та вмикають лебідку холостого ходу 6, попередньо посунувши її вздовж берега, щоб наступний цикл руху скреперного короба проходив по новій траєкторії вибою. Після повернення скреперного коробу у вихідне положення, лебідку робочого ходу вирівнюють з лебідку холостого ходу та повторюють цикл видобутку.

Виконана розробка твердотільної моделі SolidWorks, розраховані параметри конструкції окремих вузлів.

ОПОРНІ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., студент Бублейник О.С.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Гірничо-збагачувальне устаткування відіграє важливу роль у видобутку та обробці корисних копалин, які є ключовими для багатьох промислових галузей. Опорні конструкції цього устаткування забезпечують стабільність і безпеку гірничих робіт, підтримуючи важке обладнання та надійність транспортування матеріалів. Вони є невід'ємною частиною видобувного процесу, допомагають уникати аварійних ситуацій, забезпечують стабільну роботу техніки та підвищують ефективність виробництва. Використання передових матеріалів і технологій дозволяє значно підвищити міцність, довговічність і ефективність сучасних конструкцій. Зазвичай для виготовлення таких конструкцій обирають низьколеговану сталь через високу міцність і довговічність. Вони можуть бути зварними або з'єднаними болтами, що залежить від вимог проєкту щодо вантажопідйомності та простоти монтажу. Сталеві конструкції широко застосовуються в важкій промисловості завдяки їхній надійності і здатності витримувати великі навантаження. Вони фіксуються на опорних точках, забезпечуючи стабільність і запобігаючи зсувам під навантаженням. Опори можуть бути виконані з бетону або металу, забезпечуючи надійну підтримку елементів конструкції. Використовуються вертикальні стійки та горизонтальні балки, формуючи жорстку і міцну структуру. Сталеві конструкції можуть бути захищені від корозії шляхом фарбування або оцинкування.

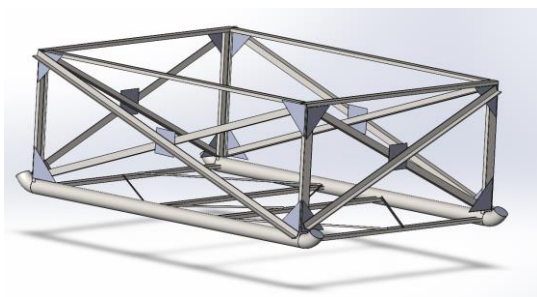


Рис. 1. Опорна рама вертикального класифікатора

Вони забезпечують високу стійкість до зовнішніх впливів, таких як вітер, сніг або сейсмічна активність. Завдяки використанню якісних матеріалів і технологій такі конструкції мають тривалий термін експлуатації з мінімальним обслуговуванням, витримуючи значні навантаження завдяки міцним опорам і несучим елементам. Проте вони вимагають спеціального обладнання та технічних знань для правильного монтажу

і фіксації, а після встановлення неможливо змінити їхнє місце розташування. Зазвичай ці конструкції мають вищу вартість у порівнянні з мобільними конструкціями через використання більшого обсягу матеріалів і складність монтажу. Одним з прикладів такої пересувної опорної конструкції може бути опорна рама вертикального класифікатора (рис. 1), що може бути застосована з можливістю переміщень такого збагачувального обладнання в межах кар'єру. Як і всі сталеві конструкції, вони потребують належного захисту від корозії, особливо в агресивних середовищах.

В роботі виконана розробка твердотільної моделі в спеціалізованій програмі SolidWorks.

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУ ГРОХОТУ ГЗВ 0,9 З СИСТЕМОЮ ЗРОШУВАННЯ

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., студент Забігай А.М.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Установка на базі грохоту ГЗВ 0,9 з системою зрошування – є стаціонарною установкою (рис. 1), що призначається для виконання промивки, класифікації мінералів по крупності, зневоднення сировини й перевантаження її до подальшого транспортування, наприклад стрічковим конвеєром.

Установка на базі грохоту ГЗВ 0,9 з системою зрошування складається з

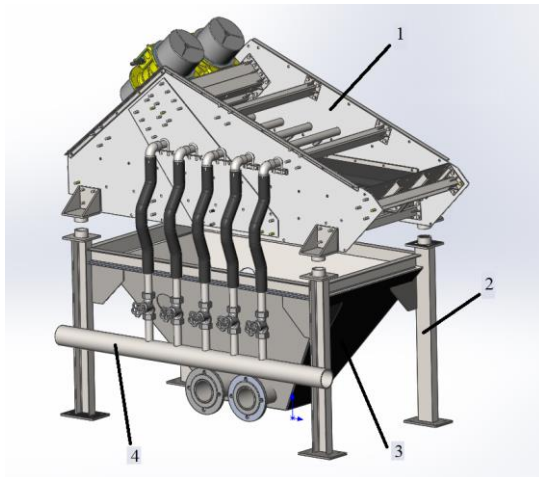


Рис. 1. Грохот ГЗВ 0,9
з системою зрошування:
1 – грохот ГЗВ 0,9;
2 – рама опорна; 3 – система
водопостачання і зрошування

таких складальних компонентів: 1 – грохот ГЗВ 0,9 забезпечує реалізацію процесу вібраційної класифікації сировини під впливом лінійних гармонічних коливань, очистки сировини від пиловатих домішок шляхом зрошування сировини з зрошувальних форсунок, зневоднення сировини під впливом високочастотних самосинхронізованих вібраційних коливань під впливом дії віброприводів; 2 – рама опорна, забезпечує надійну установку грохоту ГЗВ 0,9 у необхідному положенні, що забезпечує вивантаження підрешітної сировини у складі пульпи до шламового бункеру і подачі зневодненої сировини надрешітної й перевантаження її до подальшого транспортування стрічковим конвеєром; 3 – система водопостачання і зрошування, забезпечує подачу води у визначеній кількості до зрошувальних форсунок з метою промивки матеріалу і очистки від пиловатих забруднень; 4 – шламовий бункер, забезпечує вловлювання підрешітного продукту у виді пульпи і злив її до шламовідстійнику.

Грохот ГЗВ 0,9 (рисунок) – це вібраційний пристрій, що виконує промивку і розділення мінералів по крупності. Процес високочастотної класифікації зернистих мінералів в такій конструкції відбувається завдяки горизонтальному розташуванню сит, а також високочастотної вібрації з лінійними коливаннями що утворюються за допомогою двох вібраційних приводів.

Перевагами грохоту ГЗВ 0,9 є висока ефективність вібраційної класифікації і очистки сировини від пилу, при відносній простоті конструкції грохота. В роботі грохота ГЗВ 0,9 застосовують широкий спектр параметрів частоти лінійних коливань та амплітуди відповідності до параметрів вібраційних приводів.

Перевагами грохоту ГЗВ 0,9 є висока ефективність вібраційної класифікації і очистки сировини від пилу, при відносній простоті конструкції грохота. В роботі грохота ГЗВ 0,9 застосовують широкий спектр параметрів частоти лінійних коливань та амплітуди відповідності до параметрів вібраційних приводів.

В роботі виконана розробка твердотільної моделі SolidWorks, розраховані параметри конструкції окремих вузлів.

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУ ГРОХОТУ ULS 1,5×0,6 ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., студент Толкач В.С.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Одним з прогресивних методів поліпшення стану видобутку вугілля та використання енергетичних ресурсів є брикетування. Утилізація та переробка відходів вугільної промисловості та отримання з них високоякісної продукції – головне призначення процесу брикетування.

Одною з допоміжних операцій під час брикетування є класифікація вугілля та виділення частинок найбільш придатних для отримання якісних брикетів. Класифікація – це процес розділення продукту за крупністю на обладнанні, що називається грохотом. Операцію класифікації широко використовують на збагачувальних та брикетних фабриках для сортування продукту. На сьогодні найбільш ефективними засобами є вібраційні грохоти, де просіювання виконується за рахунок підкидання часток за допомогою вібрації.

ULS 1,5×0,6 – вібраційний грохот з багаточастотною характеристикою коливань, тобто на ситі присутній великий спектр частот та створюваними прискореннями часток до 300 g. Дана характеристика забезпечується механічним пристроєм, що встановлюється на коробі грохота. Коливання створюються мотор-вібратором з дебалансами, що представляє собою привід грохота.

Установка (Рис.) грохота складається з коробу 3, що рухається з встанов-

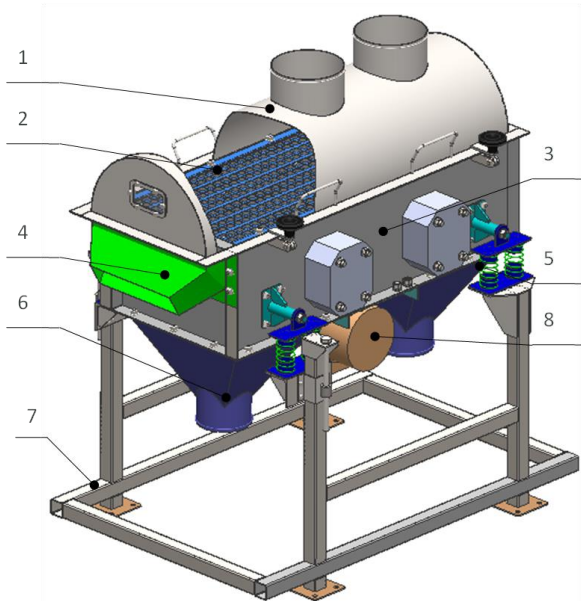


Рис. 1. Грохот ULS 1,5×0,6

короба 3 болтами. Рама опорна приєднується до фундаменту анкерними болтами, що попередньо встановлюються у фундамент відповідно схеми розміщення кріплення установки грохота.

В роботі виконана розробка твердотільної моделі SolidWorks, розраховані параметри конструкції окремих вузлів.

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЕКТУ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ 50 Т/ГОД

Д.т.н., професор Бондаренко А.О., студентка Тонконогова Є.В.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Вугілля – це осадова порода, що утворилася з рослинних залишків шляхом їх тривалої трансформації під впливом тиску і температури протягом мільйонів років. Вугілля використовується як паливо і є важливим джерелом енергії для промисловості та побутових потреб.

Установки для переробки вугілля застосовуються в різних галузях промисловості, де вугілля використовується як основний енергетичний ресурс або як сировина для подальшої переробки.

Установка для сортування вугілля (Рис.) є інтегрованим комплексом, який не тільки ефективно сортує зернисті матеріали, але й забезпечує надійний й безпечний процес переробки сировини.

Установка для сортування вугілля (рис. 1) починає роботу з завантаження вугілля у вхідний бункер, який забезпечує постійний запас матеріалу для подальшої обробки. Бункер 1 виконує роль накопичувача, що гарантує стабільний потік вугілля на наступні етапи обробки. З бункера вугілля рівномірно подається на грохот 3 за допомогою лоткового живильника 2. Регулюючи параметри живильника контролюють подачу матеріалу на грохот, з метою підвищення

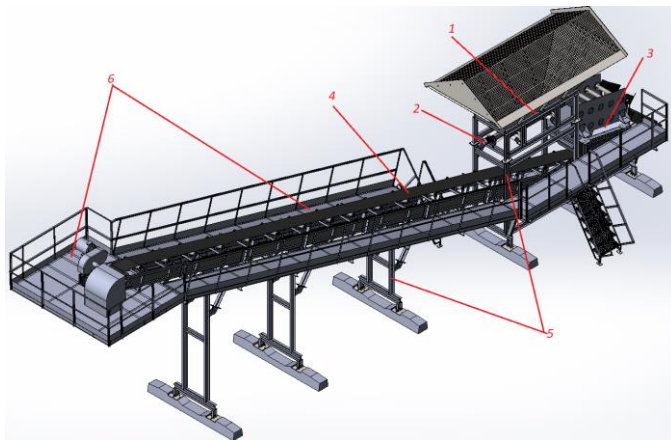


Рис. 1. Установка для переробки вугілля продуктивністю 50 т/год:
1 – бункер; 2 – живильник; 3 – грохот;
4 – конвеєр; 5 – рама; 6 – площадки

ефективності переробки й уникнення перевантажень. Грохот установки забезпечує високу точність сортування, дозволяючи досягти потрібної якості та чистоти матеріалу на кожному етапі сортування. За результатом вібраційної класифікації на грохоті надрешітний продукт складують до конусних складів. Після сортування дрібне вугілля транспортують стрічковим конвеєром 4 до конусного складу де його зберігають. Зазначені елементи установки для сортування вугілля встановлюють на рамі 5. З метою організації ефективної експлуатації і обслуговування на установці передбачені площадки 6.

Установку для сортування вугілля встановлюють на відкритий поверхні вугільного складу і закріплюють анкерними болтами.

В роботі виконана розробка твердотільної моделі SolidWorks, розраховані параметри конструкції окремих вузлів.

ПРО ЗАСТОСУВАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЛАЗМИ У ГІРНИЧОРУДНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Н.с. Осінній В.Я.

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України

В ІГТМ НАН України розробляються методи кількісної оцінки енерговитрат на дезінтеграцію у процесах вибухового та механічного руйнування міцних порід, зокрема, магнетитових кварцитів [1].

Магнетитові кварцити у підземних умовах шахт Кривбасу піддаються руйнуванню за схемою: вибух - дроблення - подрібнення. З метою підвищення якості концентрату шматки породи розміром більше одного метра руйнуються у дробарках та млинах до десятка мікронів. Виникла необхідність пошуку принципово нових рішень цих проблем. Одним із таких способів є розширення ролі вибухового дроблення. Параметри вибуху - тиску та час протікання процесу на порядок відрізняється від аналогічних при механічному ударі. При вибухових навантаженнях на залізорудний масив можна не тільки руйнувати міцні руди у вигляді візуально видимих шматків, але й створювати певну кількість прихованих тріщин, частина яких проходитиме по контактах між зернами магнетитів і порід, що вміщують. Це дозволить знизити опірність у подальших операціях механічного різання руди та підвищити якість концентрату. Досягти цього можливо за рахунок застосування низькотемпературної плазми при створенні котлових порожнин у вибухових свердловинах для розміщення вибухових речовин та створення нових конструкцій зарядів [2]. Авторами роботи [3] представлена теоретична оцінка зміни питомої енергії вибуху, що випромінюється в масив гірських порід при створенні котлових розширень у вибухових свердловинах, раніше пробурених механічним способом за рахунок напруг, що розтягують.

Встановлення параметрів термічних процесів руйнування гірських порід під дією концентрованих теплових потоків енергії зумовлено необхідністю визначення кінетичних констант ендотермічних процесів їхнього розкладання, дегідратії та дисоціації.

В результаті термічного впливу на домішкові системи (до яких можна віднести більшість гірських порід) ряд кристалів у певному температурному діапазоні зазнають фазових переходів першого та другого видів.

Кристалічні решітки домішкових систем, які проявляють властивості твердих розчинів заміщення та впровадження, під впливом високих температур схильні до різного роду трансформацій, пов'язаних з температурними змінами довжин трансляційних векторів відповідних сингоній.

У свою чергу динаміка трансформацій кристалічних решіток визначає інтенсивність формування дислокацій, а також протікання в гірських породах топомічних реакцій. Відмінною рисою топотаксичних перетворень нестехіометричних домішкових систем в результаті протікання топомічних реакцій є те, що найважливіші структурні елементи кристалічних решіток (наприклад, напрями трансформаційних векторів) вихідної фази орієнтаційно впливають на параметри кристала кінцевої фази. При цьому формування

кристалічної решітки кінцевої фази, пов'язане зі зміною довжин трансляційних векторів, отже, зі зміною енергії розриву зв'язків, зрештою впливає на величини теплової енергії руйнування гірських порід.

Методами рентгеноструктурного та термогравіметричного аналізів досліджувалися кристалічні решітки хлорито - аспідних сланців, які піддані опроміненню повітряною плазмою в діапазоні температур 3000 – 4500 °С у технологічних процесах плазмового способу розширення свердловин [4].

Аналіз результатів термогравіметричних досліджень показав, що кінетичні константи ендотермічних процесів, які протікають у кристалічних решітках хлорито-аспідних сланців, що перейняті опромінення повітряної плазми та у решітках вихідної фази значно різняться. Розрахунок кінетичних параметрів топотаксичних перетворень проводився методами запропонованими Ньюкірком, Фріменом і Керролом, Горовицем і Метцгером, а також використовувався модифікований метод розрахунку, запропонований у роботі [5].

Аналіз термогравіметричних кривих, а також результатів досліджень рентгеноструктурного аналізу параметрів кристалічних решіток хлоритів показав, що перша стадія дегідрації полягає у втраті хлоритами приблизно половини структурної води та супроводжується міграцією іонів Mg у напрямку гідроксильних шарів сітки бруситової. На другій стадії дегідрації утворюється олівін, причому орієнтування новостворених кристалів олівіну безпосередньо пов'язано зі структурою вихідного хлориту. У процесі цього термічного перетворення із структури видаляються кремнезем і вода. При температурі 640°С перше термічне перетворення відповідає дегідрації бруситового шару, а при температурі 800 °С - талькового шару структури хлоритів.

Дослідження термічними та рентгеноструктурними методами хлорито-аспідних сланців під дією плазмових потоків визначило основні закономірності трансформації кристалічних решіток домішних систем. Таким чином, при термічному руйнуванні хлорито-аспідних сланців необхідно враховувати факт збільшення енергії руйнування в процесах опромінення їх плазмовими потоками.

Література

1. Bulat, A., Osinnii, V., Dreus, A., & Osinnia, N. (2021). Mathematical modelling of thermal stresses within the borehole walls in terms of plasma action. *Mining of Mineral Deposits*, 15(2), 63-69. <https://doi.org/10.33271/mining15.02.063>
2. Осенний В.Я., Осенняя Н.В. О котловой полости и рациональной конструкции заряда при отбойке крепких руд в подземных условиях / IX Міжнародна науково-технічна конференція «Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин» : Матеріали конференції. – Кременчук : КрНУ, 2013. – С. 39 – 41.
3. Булат А.Ф., Никифорова В. А, Осенний В.Я. Повышение эффективности буровзрывных работ в крепких рудах// Вісник КДПУ. – 2006. – Вип. 2(37). – Ч. 2. – С. 93 - 94.
4. Ларкина Л.И. Исследование физико-химических процессов в магнетитовых кварцитах Кривбасса методом термографии, / Л.И. Ларкина, Б.Д. Алымов, В.Я. Осенний, Л.И. Пивоварова // Интенсификация процессов разрушения горных пород. – Киев : Наукова думка, 1999.- вып. 65. – С. 34-38.
5. Уэндладт У. Термические методы анализа. К., 1997. – 526 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТАРІННЯ ТА ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ДОВГОВІЧНІСТЬ ГУМОВИХ ФУТЕРОВОК МЛИНІВ

Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В.,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
Черній О.А.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Практика використання гумових футеровок у барабанних млинах демонструє їхні значні експлуатаційні переваги. Зокрема, такі футеровки сприяють зниженню маси обладнання, збільшенню терміну служби, зменшенню рівня шуму та іншим позитивним ефектам. Доведено, що їх застосування дає змогу скоротити витрати помольних тіл на 10 %, знизити споживання електроенергії на 7-10 % і підвищити ефективність розкриття рудних зерен на 1,8-3,0 %. Однак наразі відсутні чіткі та уніфіковані методики розрахунку параметрів футерування, що ускладнює їхню оптимізацію [1].

В існуючій літературі [2] проектування футеровок часто не враховує характер і механізми зносу матеріалу, незважаючи на їхній значний вплив на довговічність футерування. З безлічі можливих видів зносу найбільш критичним є втомне руйнування гуми, що виникає під впливом циклічних навантажень. Цей процес зумовлений багаторазовим вдавненням фрагментів матеріалу, що подрібнюється, і помольних тіл, що призводить до прогресуючого старіння гумового покриття.

Дослідженню підлягали гумові футеровки двох рудоподрібнювальних млинів: у першому випадку розглядали млин МШР 3,6×4,0 з футеровкою "Плита Н-Хвиля" (Н = 270/240 мм, виробництво ТОВ "НВП Валса-ГТВ") на ПАТ "Північний ГЗК", перша стадія подрібнення, куля Ø100 мм, напрацювання гумової футеровки на відмову 6850 год [1].

У другому випадку розглядали млин МШР 4,0×5,25 з футеруванням "Плита Н-Хвиля" (Н = 270/240 мм, виробництво ТОВ "НВП Валса-ГТВ") на ПАТ "Полтавський ГЗК", перша стадія, куля Ø100 мм, напрацювання на відмову 9030 год [1]. В обох випадках залишкова товщина футерування була приблизно однаковою - (40-100) мм.

З футерувальних плит вирізали зразки розміром 35×60×100 мм і піддавали механічним випробуванням для визначення модуля зсуву, коефіцієнта дисипації та фрактальної розмірності поверхні гуми. Також проводили випробування на релаксацію гуми.

Незважаючи на різний діаметр млинів і різне напрацювання гумових футеровок до відмови, результати випробувань виявилися приблизно однаковими. Футеровка на ПАТ "Північний ГЗК" працювала в важчих умовах: у живленні млина були присутні не властиві для технології першої стадії подрібнення розміри частинок 50-200 мм, що призвело до більш інтенсивного зносу елементів футерування та збільшення швидкості старіння матеріалу.

За час експлуатації млинів зміна фізико-механічних характеристик гум була такою: умовно-рівноважний модуль зсуву збільшився на (30-40) %;

коефіцієнт дисипації енергії зменшився на (40-50) %, що в якісному сенсі не суперечить результатам тривалого старіння при інтенсивних циклічних навантаженнях [2].

Також були досліджені і побудовані релаксаційні криві дослідних зразків. Схематичне розташування дослідних зразків представлено на рис. 1. Для проведення експериментів використовувалося лабораторне обладнання, зокрема: ручний прес ДМ-30М (поз. 1, рис. 1), кільцевий динамометр із номінальною силою стиску 20 кН, мультиметр – 3, 4 – ПК, а також пристосування ДМ-22М (поз. 2). На поверхні стержня центрального болта пристосування ДМ-22М, згідно з мостовою схемою, було встановлено чотири тензодатчики.



Рис. 1

Релаксаційна крива – це графік (рис. 2), що описує зменшення напруження у матеріалі в часі за постійної деформації. Вона показує, як швидко гумовий матеріал втрачає свої механічні властивості під впливом навантаження [3].

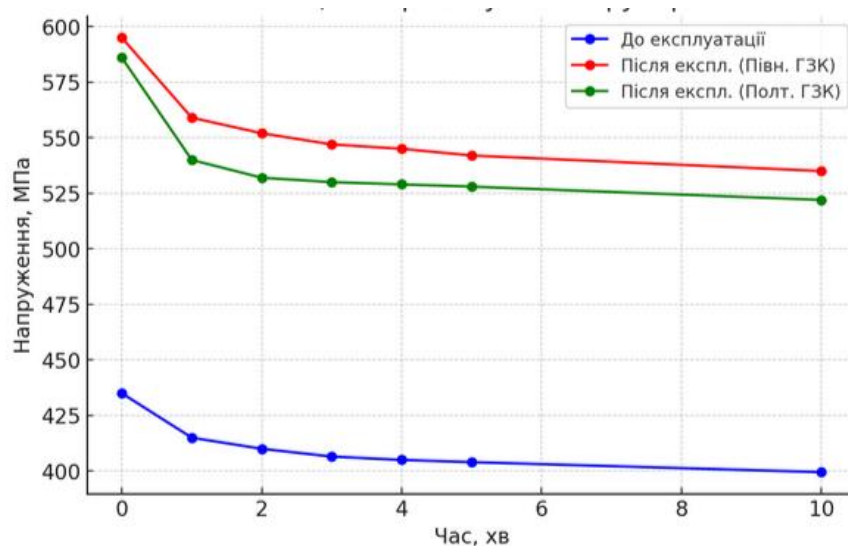


Рис. 2

Аналіз релаксаційних кривих.

1. До експлуатації: Гума має початкове напруження 435 МПа і демонструє поступове зниження напруги до 399,5 МПа через 10 хвилин.

2. Після експлуатації (Півн. ГЗК, варіант 1): Початкове напруження значно вище (595 МПа), що може свідчити про зміну структури матеріалу або залишкові деформації. Напруження швидко знижується до 535 МПа.

3. Після експлуатації (Півн. ГЗК, варіант 2): Подібна картина, початкове напруження 586 МПа, а через 10 хвилин — 522 МПа.

Старіння гумових футеровок є ключовим фактором, що визначає їхню довговічність та ефективність експлуатації. Основні висновки дослідження:

1. Зміни фізико-механічних характеристик: Збільшення модуля зсуву на 30-40 % і зменшення коефіцієнта дисипації на 40-50 % свідчать про погіршення еластичності та здатності матеріалу до поглинання навантажень.

2. Релаксаційні характеристики: Після експлуатації початкове напруження гумових зразків було значно вищим, що може свідчити про структурні зміни матеріалу та накопичення внутрішніх дефектів.

3. Вплив умов експлуатації: Футеровки, що працювали в умовах перевантаження та впливу крупних частинок, зазнали інтенсивнішого старіння, що скорочує їхній ресурс.

Рекомендації:

- Використовувати гумові суміші з підвищеною стійкістю до втомного руйнування.

- Впроваджувати методи прогнозування залишкового ресурсу футеровок.

- Оптимізувати умови експлуатації для зниження інтенсивності зношування.

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку нових матеріалів та технологій футерування, що забезпечать підвищену довговічність та зниження експлуатаційних витрат.

Література

1. Bulat, A. F., Dyrda, V. I., & Kalhankov, Y. V. (2018b). Synergetic model of the wave abrasive-fatigue wear of rubber lining in the ball-tube mills. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 39–47. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/5>
2. Дирда, В., & Зозуля, Р. (2013). *Гумові футерівки технологічних машин*. Журфонд.
3. Дирда, В., Агальцов, Г., Новікова, А., Калганков, Є., Цаніді, І., & Дорохов, М. (2015). Експериментальні дослідження реології гум. *Геотехнічна механіка*, (121), 207–214.

ЗАСТОСУВАННЯ ВАКУУМ-ВИПАРНИХ УСТАНОВОК У ТЕХНОЛОГІЇ РІДКІСНИХ МЕТАЛІВ

Старший дослідник, к.ф.-м.н. Мухачев А.П., доцент, к.т.н. Єлатонцев Д.О.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

У виробництві рідкісних металів (цирконію, гафнію та ін.) часто виникає необхідність концентрування металів у рідкій фазі без проведення операцій осадження карбонатів або гідроксидів [1]. У технологіях отримання цих металів використовується технологічне обладнання виготовлене сталі марки X18H10T, стійкої до впливу азотної кислоти [2]. З метою інтенсифікації процесу, концентрування металів проводять при температурі не більше 70 °С і вакуумі 300-400 мм рт. ст.

Випарна установка, як правило, складається з безпосередньо випарного апарату, теплообмінника для утилізації парів азотної кислоти, вакуум-дугового насоса ВН-12 і декількох ємностей із фторпласту. Початковий сольовий розчин має концентрацію металу 40-50 г/л при кислотності за HNO_3 порядку 450-500 г/л. Після упарювання концентрація солі зростає до 120-150 г/л, а концентрація HNO_3 – до 600 г/л. Упарений розчин використовується для отримання фторидів металів, а концентрат із вмістом солей 300 г/л направляється на подальше концентрування (до 450 г/л) для регенерації кислоти. Продуктивність випарної станції може змінюватися в межах від 1 до 10 м³/год. Для стабілізації фазового складу розчину, відношення концентрації металу до кислоти підтримують рівним 1:12. Процес упарювання азотнокислотного розчину рідкісних металів повністю автоматизований і є практично безвідходним.

Створення установки для концентрування азотнокислих металовмісних розчинів дає змогу виключити з технологічної схеми операції переведення металів у нерозчинні солі, для утилізації яких необхідні окремі установки упарювання, грануляції та сушіння. Процес концентрування азотнокислих розчинів методом упарювання під вакуумом дає змогу уникнути утворення оксидів азоту і попереджає необхідність їхнього уловлювання для захисту атмосферного повітря [3].

Література

1. Mukhachev A.P., Yelatontsev D.O. Disc-type press filter and its industrial testing. *Geo-Technical Mechanics*. 2023. Vol. 166. P. 84-94.
2. Yelatontsev D., Nefedov V., Kharytonova O. Reducing operational risks during suspensions separation in rare metals technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1348. №. 1. C. 012025.
3. Mukhachev A.P., Yelatontsev D.O., Shevchenko V.H. Resource-saving and environmental protection in nuclear-grade zirconium and hafnium production. *Geo-Technical Mechanics*. 2023. Vol. 164. P. 135-149.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНИХ ГУМОВО-КОРДНИХ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

Провідний науковий співробітник Кірія Р.В., старший науковий
співробітник Смірнов А.М., провідний інженер Мостовий Б.І.,
старший науковий співробітник Лисиця М.І.

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
старший викладач Калганков Є.В.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Сучасне машинобудування потребує інноваційних рішень у галузі матеріалів, що забезпечують довговічність, зносостійкість та економічну ефективність. Одним із перспективних напрямів є повторне використання перероблених гумово-кордних матеріалів (ГКМ), одержуваних зі зношених шин, конвеєрних стрічок та інших технічних гумових виробів, які мають кордову основу. Повторне використання гумово-кордних матеріалів розв'язує відразу кілька проблем:

1. Зниження обсягів відходів - утилізація зношених шин залишається глобальною екологічною проблемою, і їхнє перероблення дає змогу мінімізувати шкоду довкіллю.

2. Зниження собівартості матеріалів - переробка ГКМ обходиться дешевше, ніж виробництво нових гумових композитів, що робить їх більш економічно вигідними.

3. Енергозбереження - виробництво нових гумових деталей вимагає значних витрат енергії, тоді як переробка використаних матеріалів дає змогу знизити енергоспоживання на 30-50%.

Метою роботи є порівняльна оцінка футерувальної гуми, яка використовується для футерування барабанів, конвеєрних роликів та інших поверхонь які потребують захисту з матеріалом отриманим шляхом вулканізації перероблених гумово-кордних сумішей.

Для виготовлення зразків використовували перероблені конвеєрні стрічки та автомобільні шини, що містять гумово-кордну основу та стандартну гумову суміш для виготовлення футерівок. Зразки піддавалися механічним випробуванням на твердість, стираємість, а також визначались реологічні характеристики. Вимірювання проводили згідно зі стандартними методиками випробувань для еластомерних матеріалів.

Фізико-механічні властивості футерувальної гуми всебічно досліджені і відомі [1], стосовно гумово-кордних деталей інформації майже не має.

Фізико-механічні властивості гумово-кордних матеріалів.

Гумово-кордні матеріали мають низку властивостей, що визначають їхню придатність для повторного використання в машинобудуванні. Згідно з проведеними дослідженнями, перероблені ГКМ демонструють:

- Високий модуль пружності ($\approx 24,5$ МПа), що робить їх стійкими до механічних навантажень.

- Низьку залишкову деформацію ($\approx 3,6\%$), що вказує на здатність зберігати форму після стиснення.

- Хорошу зносостійкість (стираємість $22 \text{ м}^3/\text{ТДж}$), що значно перевищує аналогічний показник у традиційних футерувальних гум.

- Середню твердість ($\sim 72\text{-}82$ за Шору А), що робить їх універсальними для різних технічних застосувань.

Важливим показником еластомерних матеріалів є їх релаксаційні характеристики тобто процес поступового зменшення внутрішнього напруження в матеріалі під дією тривалого навантаження.

Дослідження релаксаційних характеристик проводили згідно міжнародних та державних стандартів: ISO 3384 «Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of stress relaxation in compression - Part 1: Testing at constant temperature», ДСТУ ISO 815-1:2019 (ISO 815-1:2014, IDT) «Гума вулканізована чи термопластична».

В якості експериментальної установки використовували модернізований кільцевий динамометр ДМ-22М з номінальною силою стиску 20 кН .

Провівши комплекс експериментів, отримано експериментальні графіки залежностей зміни сил стиску зразків від часу їхньої витримки при сталій відносній деформації 35% і наведені на рис.1.

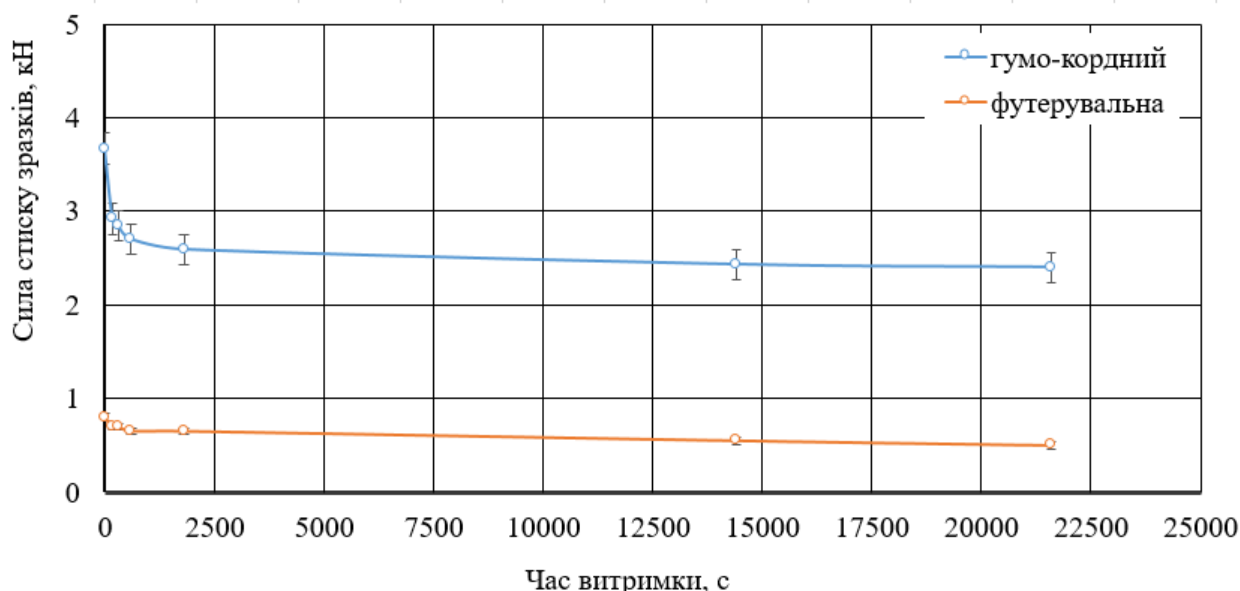


Рис. 1

Для кращого сприйняття отриманих даних експериментів побудовані гістограми реологічних показників дослідних зразків. Вони представлені на рис. 2. Де 1-гумо-кордні зразки; 2- футерувальна гума, k – параметр швидкості релаксації напруження; Δ – параметр величини падіння напруження до рівноважного значення, %; δ – параметр залишкової деформації після стискання, %.

Для оцінки доцільності використання перероблених ГKM у машинобудуванні проведено порівняння їхніх властивостей із традиційними футерувальними гумами. Основні висновки:

- ГKM менш схильні до стирання, що збільшує термін служби деталей.

- Мають меншу швидкість релаксації напружень і меншу залишкову деформацію, що критично для динамічно навантажених вузлів.

- Порівняно з футерувальними матеріалами (модуль пружності 5,8 МПа), ГKM значно міцніші та стійкіші до навантажень.

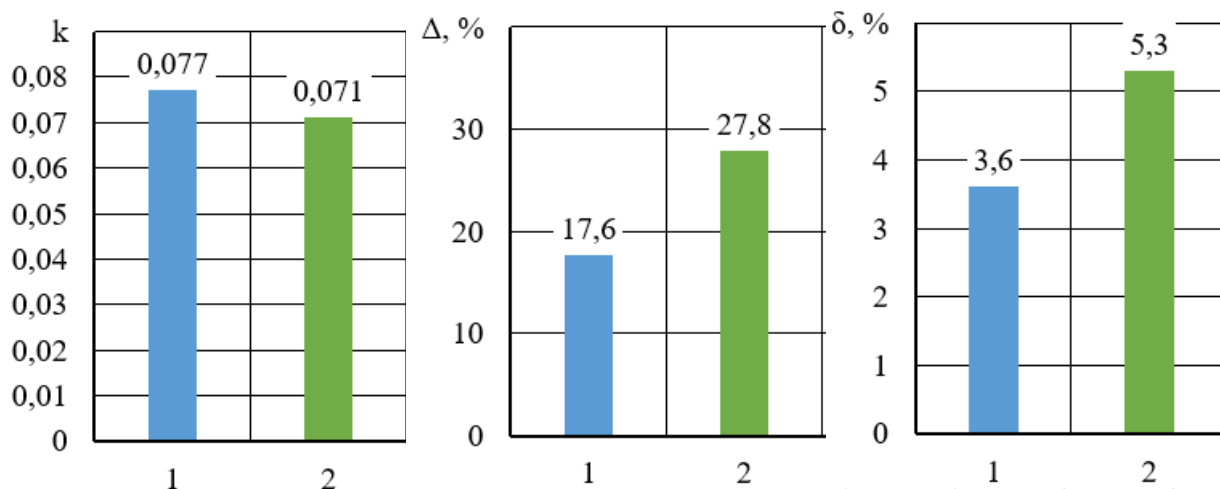


Рис. 2

Перероблені ГKM можуть використовуватися в різних вузлах і агрегатах машинобудування, зокрема:

- Сейсмовіброакустичні деталі (опори, демпфери, прокладки) [2].
- Покриття барабанів та роликів стрічкових конвеєрів, де потрібна висока зносостійкість [3].
- Амортизатори та ущільнювачі в гідравлічних системах.
- Протектори і накладки для захисту від механічного зносу.
- Футерування обладнання, що працює в умовах ударних і стираючих навантажень.

Перспективи повторного використання перероблених гумово-кордних матеріалів у машинобудуванні зумовлені їхньою високою механічною міцністю, зносостійкістю та стійкістю до навантажень. Такі матеріали можуть замінити традиційні гуми в низці конструктивних елементів, забезпечуючи довговічність і економічність рішень. Крім того, повторне використання ГKM дає змогу знизити навантаження на навколишнє середовище і вирішити проблему утилізації відходів. У майбутньому подальші дослідження можуть бути спрямовані на модифікацію ГKM для розширення їхніх експлуатаційних характеристик і сфер застосування, а також потрібно провести динамічні випробування та випробування на дисипативний розігрів деталей з ГKM та їх довговічність.

Література

1. Дирда, В., Агальцов, Г., Новікова, А., Калганков, Є., Цаніді, І., & Дорохов, М. (2015). Експериментальні дослідження реології гум. *Геотехнічна механіка*, (121), 207–214.
2. Кірія, Р., Калганков, Є., Смірнов, А., & Мостовий, Б. (2024). *Ролик стрічкового конвеєра* (Патент України № 157596). ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій".
3. Булат, А., Дирда, В., Лапін, В., Немченко, В., Пугач, А., Калганков, Є., Маренков, М., Лисиця, М., & Агальцов, Г. (2022). *Вібросейсмоакустична опора* (Патент України № 150436). ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій".

INNOVATIVE SMALL-SIZED MOBILE TECHNOLOGICAL LINE FOR RECYCLING WASTE FROM DESTRUCTION IN THE AREA OF THEIR FORMATION

Associate Professor Fedoskina O.V., Assistant Erisov M.M.,
Associate Professor Fedoskin V.O.,
Dnipro University of Technology

Ukraine annually generates up to 500 million tons of waste, the processing of which has been a major problem. Russia's aggression has added hundreds of thousands of tons of demolition waste to this figure, generated by the destruction of cities, partially or completely destroyed buildings and infrastructure, which has sharply exacerbated the previously existing problem of solid waste management. Such a huge amount of waste generated in a relatively short period of time cannot be processed at existing sorting stations and enterprises. This results in overfilling of existing landfills, the formation of spontaneous dumps, and the need to create new specialized landfills for waste storage. The lack of effective recycling leads to soil contamination, greenhouse gas and hydrogen sulfide emissions, irreversible loss of secondary raw materials, and environmental disaster.

Currently, a typical scheme for managing demolition waste includes

1 Primary site clearance - collection of demolition waste and sorting of its individual components.

2 Depending on the amount, the waste is transported to sorting stations for primary typing or to storage sites.

3 The waste is then transported to specialized enterprises for the production of secondary raw materials. A portion of non-recyclable waste is transported to a hazardous waste landfill.

4 The resulting secondary raw materials are transported to industrial enterprises or sold to consumers

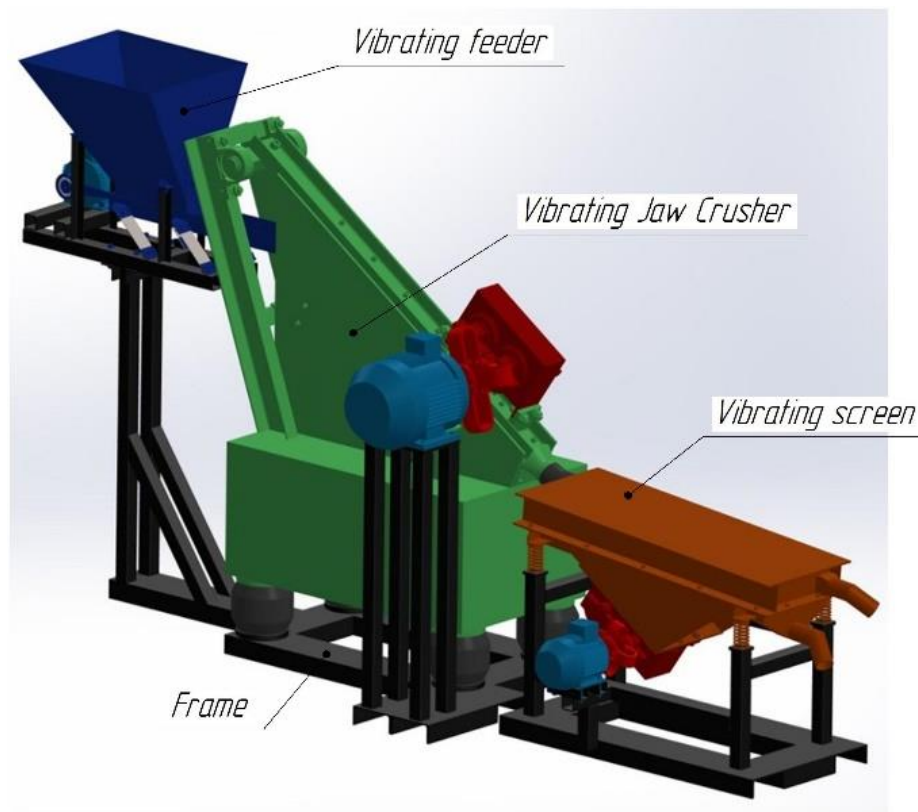
This scheme involves complex logistics, high transportation costs, and loading and unloading operations

Today, only concrete and bricks up to a final size of 20-40 mm are processed at the waste generation site using crushing and screening plants designed for primary crushing of large-sized products, which limits the use of such products to road filling, filling sinkholes, etc. The high productivity of these plants, hundreds of tons per hour, is difficult to load at the site of waste generation, with their mandatory manual disassembly.

However, there is a significant amount of waste that can be processed into marketable products using innovative technologies and significantly reduce the burden on landfills. These include drywall, whose fine-grained fraction is used as raw material for the agricultural sector or after calcination to restore gypsum properties, crushed sheet glass and glass blocks as high-quality concrete aggregate, crushed container glass used in the glass industry and artistic products, and fine-grained fraction of concrete and brick. For processing of such materials in conditions of heavily clogged areas and at manual sorting of wastes it is expedient to use small-sized mobile crushing-sorting lines with productivity up to 5t/h. The small-sized innovative equipment developed at Dnipro

University of Technology and the proposed technology for waste processing in the area of its generation allow creating a technological line that will ensure the production of marketable products directly at the place of waste generation and significantly reduce transportation costs.

The main unit that determines the line layout and its technological performance is a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber. Docking of the crusher with the adjacent equipment in the horizontal plane creates a compact line by significantly reducing the height and simplifying the metal structure.



Innovative laboratory installations and the results obtained, which are used in this process, show the relevance and prospects of creating a mobile small-sized mobile line for waste processing. The proposed processing technology and small-sized innovative equipment allow significantly reducing transportation costs and obtaining marketable products directly at the place of waste generation.

Reference

1. Про відходи: Закон України № 187/98-ВР від 05.03.1998 р. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36. Ст. 242
2. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України: Постанова КМУ № 1073 від 27.09.2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text>

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР РЕДУКТОРА І ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА ДЛЯ ЖИВИЛЬНИКА ДТ-20А З УРАХУВАННЯМ ЙОГО КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ

Доцент Кухар В.Ю., студент Ніколаєнко Д.П.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Модернізація дискового живильника ДТ-20А вимагала усунення конструктивних недоліків приводу: складного обслуговування редуктора та навантаження на підшипники вихідного валу. Для вирішення цих проблем обрано новий редуктор та опорно-поворотний підшипник, що покращують експлуатаційні характеристики та надійність обладнання.

1. Обґрунтування вибору редуктора

Після аналізу технічних вимог та умов експлуатації [1] було вирішено використовувати редуктор виробника Brevini (рис. 1), який задовольняє наступним критеріям:

- Компактність. Завдяки малим габаритам редуктор займає мінімальний простір у конструкції приводу, що спрощує монтаж.
- Серійне виробництво. Використання серійної моделі забезпечує доступність запасних частин та спрощує технічне обслуговування.
- Відносно низька вартість. У порівнянні з аналогами, редуктор має конкурентоспроможну ціну при збереженні необхідних характеристик.
- Великий діапазон передавальних чисел. Це дозволяє обрати оптимальне передавальне число для забезпечення необхідної швидкості обертання вихідного валу.

Осьове навантаження, що виникає внаслідок вагової дії матеріалу на таріль живильника та ваги самої тарелі й вала, не може бути сприйняте стандартними радіальними підшипниками редуктора. Для усунення осьового навантаження з редуктора встановлено опорно-поворотний підшипник.



Рис. 1

2. Обґрунтування вибору опорно-поворотного підшипника.

З метою забезпечення стабільної роботи приводу був виконаний розрахунок осьового навантаження. Для наочності розрахунку приведена розрахункова схема (рис. 2), на якій зображені: 1 – бункер, 2 – таріль, 3 – матеріал в бункері, 4 – насип матеріалу, 5 – врівноважуючий шар матеріалу, 6 – опорно-поворотний підшипник.

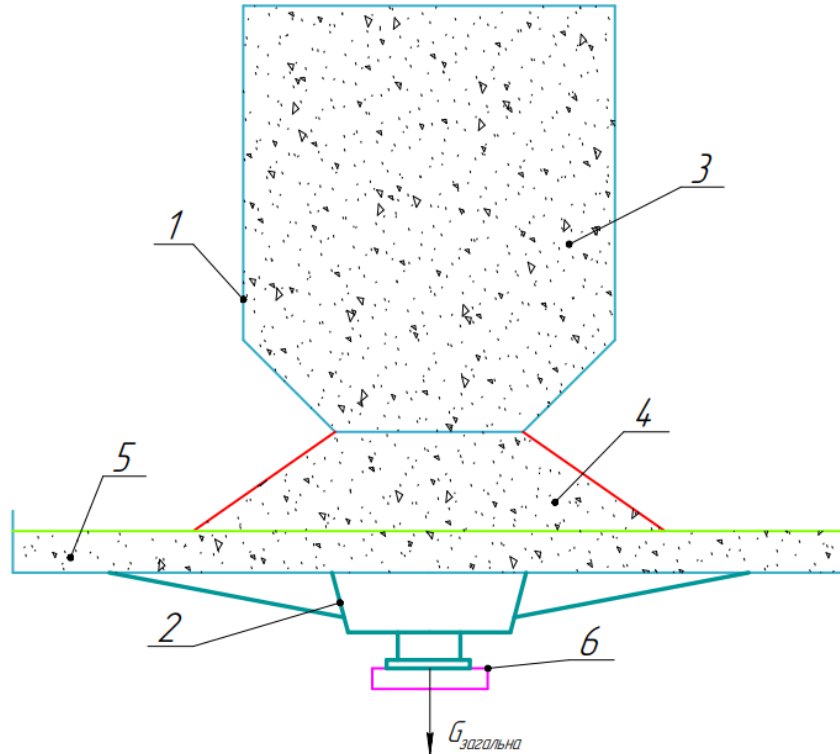


Рис. 2

Осьове навантаження:

$$C = (m_{мб} + m_{н} + m_{в} + m_{т}) \cdot g = 209,87 \text{ кН}$$

$m_{мб}$ – маса матеріалу в бункері, об'ємом 10 м^3 ;

$m_{н}$ – маса матеріалу у вигляді насипу на диску, кг;

$m_{в}$ – маса врівноважуючого шару матеріалу на диску, кг;

$m_{т}$ – маса тарелі, кг;

Маса матеріалу в бункері:

$$m_{мб} = \rho \cdot V = 20000 \text{ кг}$$

ρ – насипна вага матеріалу, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

V – об'єм бункеру, м^3 ;

Маса насипу на диску:

$$m_{н} = \rho \cdot V_{н} = 366 \text{ кг}$$

$V_{н}$ – об'єм насипу на диску, м^3 ;

Об'єм насипу на диску:

$$V_{н} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R_1^2 + R_2 \cdot R_1 + R_2^2) = 0,183 \text{ м}^3$$

h – висота насипу (від диску до розвантажувального отвору бункера), м;

R_1 – радіус основи насипу, м;

R_2 – радіус розвантажувального отвору, м;

Маса врівноважуючого шару:

$$m_B = \rho \cdot V_B = 312 \text{ кг}$$

V_B – об'єм врівноважуючого шару, м^3 ;

Об'єм врівноважуючого шару:

$$V_B = (R^2 - R_1^2) \cdot h_1 = 0,156 \text{ м}^3$$

R – робочий радіус диску, м;

h_1 – висота врівноважуючого шару на диску, м;

На основі отриманих результатів, за таблицею від виробника [2], було обрано роликівий однорядний опорно-поворотний підшипник SKF RKS.921155203001 (рис. 3), який відповідає наступним критеріям: сприйняття осьового навантаження без втрати працездатності та компактні габарити, що забезпечують зручність монтажу в наявному конструктивному просторі.



Рис. 3

Позначення	Осьове навантаження	
	Динамічне C	Статичне C_0
RKS.921155203001	245 кН	697 кН

Використання редуктора Brevini спростило технічне обслуговування, знизило експлуатаційні витрати та усунуло проблеми нестандартного редуктора. Опорно-поворотний підшипник SKF RKS.921155203001 повністю сприймає осьове навантаження, усуваючи його вплив на редуктор, що запобігає передчасному виходу з ладу підшипників вихідного валу. Внаслідок аргументованого вибору комплектуючих забезпечено стабільну роботу приводу в межах розрахованих навантажень.

Література

1. Ніколаєнко Д. П., Кухар В. Ю. Аналіз недоліків конструкції приводу живильника ДТ-20А / Тези XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації». 14 листопада 2024, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2024, 291 с, С 259 URL: <https://bit.ly/4gDHckg> (дата звернення 04.02.2025).
2. Опорно-поворотні підшипники SKF. Slewing bearings: EA Technical data sheet v01. – 2019. – 122 с. URL: <https://bit.ly/4aN17Mo> (дата звернення 08.02.2025).
3. Редуктор ВРН328К «Brevini» URL: <https://bit.ly/4hNie3e> (дата звернення 05.02.2025).

ПРОЕКТУВАННЯ КОРОМИСЛА З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ АВТОМАТИЧНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ЛІФТА

Доцент Кухар В.Ю., студент Беркут І.А.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Для вирішення задачі створення автоматичного гідравлічного ліфта [1] (далі АГЛ) існує потреба у проектуванні та розрахунку коромисла, яке через дію гідравлічного циліндра приводить у рух всю систему коромисел для підйому вантажу.

Коромисло складається з двох великих 1 та двох малих 2 важелів, з'єднаних між собою трьома трубами 3.

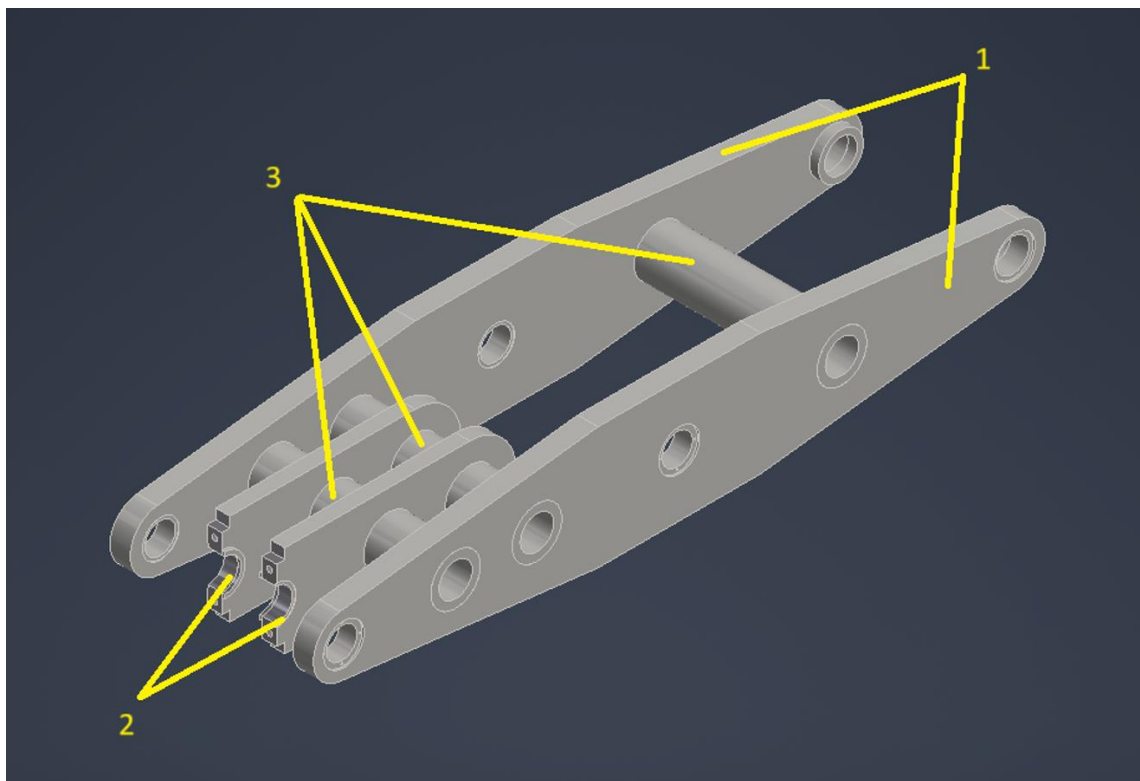


Рис. 1

Особливістю конструкції (рис. 1) є можливість швидкого демонтажу пальця, який вставляється в два півотвори на важелях 2 (закріплюється фіксуючими скобами), на який підчеплена провущина гідроциліндра. Така конструкція дозволяє демонтувати гідроциліндр викрутивши лише 4 болта, без вибивання пальця.

Задачами проектування АГЛ є: визначення навантажень на деталі та вузли в залежності від положення при підйомі.

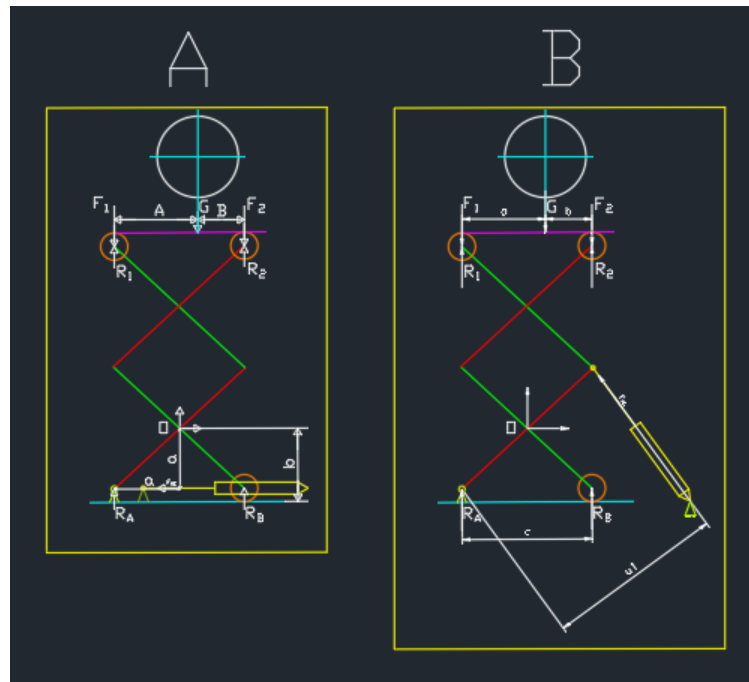


Рис. 2

При проектуванні АГЛ було розроблено дві кінематичні схеми (рис. 2): перша (А) – гідроциліндр було розміщено горизонтально. Після виконання розрахунків було отримано значення зусилля у гідроциліндрі:

$$\sum M_0 = F_{HC} \times h_1 - F_2 \times a - F_{summ} \times a = 0$$

$$R_A = F_{summ} = \frac{G_t}{2} + R_2 = 676 \text{ кН}$$

$$F_{HC} = \frac{2 \times a \times F_{summ}}{h_1} = 1536,2 \text{ кН}$$

З метою зменшення навантаження та підбору більш дешевого гідроциліндру, було змінено положення гідроциліндра, та розроблено другу кінематичну схему (В). Після зміни конфігурації елементів конструкції, було отримано навантаження:

$$\sum M_0 = F_{HC} \times u_1 - (R_2 + \frac{G_t}{2}) \times c = 0$$

$$F_{HC} = \frac{(R_2 + \frac{G_t}{2}) \times c}{u_1} = 502,7 \text{ кН}$$

Задачами **силового** проектування приводного коромисла є: визначення форми та розмірів важелів; підбір з сортаменту труби необхідного діаметру, довжини та товщини стінок; визначення діаметру отворів під пальці, для з'єднання з іншими коромислами; визначення напружень в елементах коромисла, в залежності від його положення при виконанні підйому максимального вантажу.

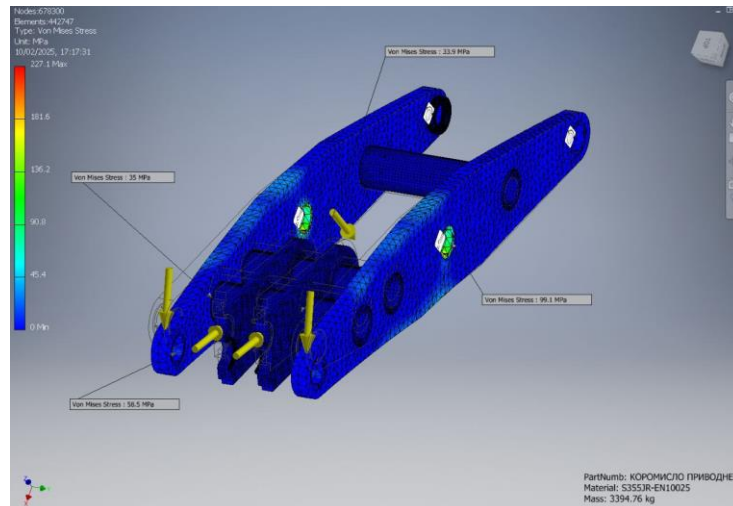


Рис. 3

Отримані значення навантажень вказують на коректно обрані розміри та матеріал для виготовлення коромисла. Значення задовольняють умові запасу міцності для підйомних машин – 2.

За обраною конструкцією за схемою В було розроблено коромисло з наступними основними конструктивними параметрами:

- Важелі 1 (рис. 1) мають товщину 100 мм, відстань між центрами отворів 3300 мм.
- Важелі 2 (рис. 1) мають товщину 70 мм, відстань між центрами отворів 950 мм;
- З сортаменту підібрано круглу трубу 3 (рис. 1) з діаметром 244,5 мм, товщиною стінки 40 мм, довжиною 1000 мм;
- Отвори під пальці для з'єднання з іншими коромислами діаметром 160 мм;
- Отвори під пальці для з'єднання з платформою діаметром 150 мм;
- Задовільне значення напруження в зварному шві між трубою та важелем 35 МПа (рис. 3 - Візуалізація напружено-деформованого стану коромисла методом скінчених елементів).

Таким чином, було прийнято саме це технічне рішення через спрощену експлуатацію та економічну доцільність.

Література

1. Беркут І.О., Кухар В.Ю. Недоліки використання крану для транспортування прокатної металопродукції з прокатної лінії та шлях їх вирішення / XII міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». 14 листопада 2024, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2024, 246 с. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/molod-nauka-ta-innovatsii-2024/molod-2024-vol2.pdf> (дата звернення: 09.02.2025).

ВИДИ ТА ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ АУТРИГЕРІВ СУЧАСНИХ АМФІБІЙНИХ ГРЕЙФЕРНИХ УСТАНОВОК

Доцент Кухар В.Ю., студентка Година С.Є.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Метою аналізу джерел інформації є вивчення конструкції аутригерів амфібійних грейферних установок та узагальнення отриманої інформації для подальшого використання у кваліфікаційній роботі бакалавра.

Амфібійні установки це клас універсальних машин, що здатні працювати в умовах нестабільного ґрунту, на мілководді та в болотистій місцевості. Це робить їх використання актуальним для експлуатації в складних умовах, зокрема у ліквідації наслідків екологічних катастроф, як-от підрив Каховської ГЕС.

Типовий склад амфібійної грейферної установки наведено на рисунку 1. Установка складається з: змінного виконавчого органу (грейфер) 1, поворотного устрою зі стрілою 2, двох передніх стабілізаторів зі знімними поплавками 3, кабіни 4, корпусу 5, двигуна 6, двох задніх стабілізаторів з гідравлічними похилими циліндрами 7. Іноді передбачена додаткова опція – знімна гусенична ходова частина, завдяки якій амфібія стає самохідною [2]. Для різних типів робіт доступні такі виконавчі органи: днопоглиблювальні роботи – занурювальний насос, екскаваторні роботи – ківш/грейфер, очищення – граблі, для забивки паль – ківш для дерев'яних паль або віброзавантажувач [4].

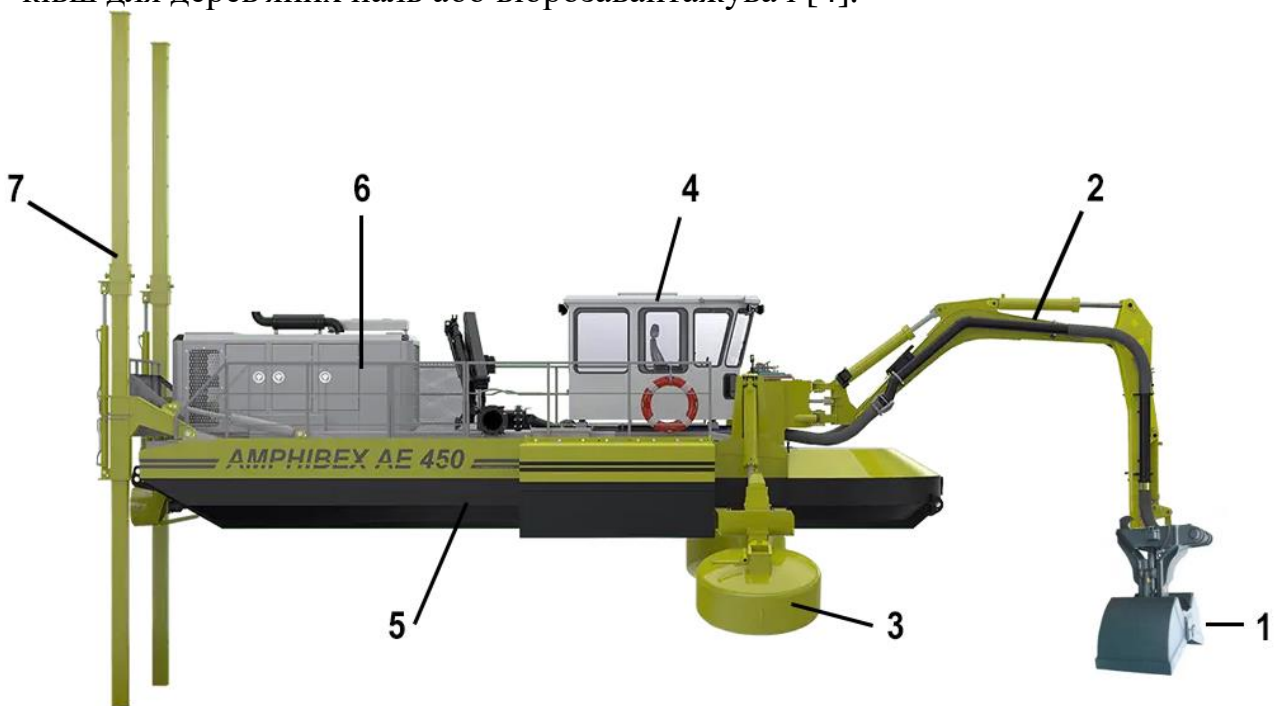


Рис. 1

Для амфібійних установок важливим фактором є підтримка стійкості та рівноваги. Експлуатація в складних умовах пливунів призводить до розхитування та втрати керованості технікою, а іноді до перекидання. Задля запобігання цього передбачені виносні опори – аутригери.

Аутригери амфібійних установок бувають двох типів.

Передні аутригери зі знімними поплавками (рис. 2, а). Розташовані по боках корпусу. Цей тип аутригерів виконує функцію підтримки рівноваги, запобігання нахилу чи перекидання установки та самостійного переміщення з машини-транспортера (без поплавків). Через встановлення стабілізаторів із поплавками на дно, зменшується тиск на воду від самої установки, що дозволяє їй залишатися на поверхні навіть з важким обладнанням. Також поглинають вібрацію від насосу під час днопоглиблювальних робіт.

Задні аутригери (рис. 2, б). Розташовані ззаду корпусу. Виконують функцію самостійного пересування від машини-транспортера до місця роботи/самостійного спуску у водоймище, стійкості при роботі стріли, закріплення на одному місці за наявності течії. Розширюють допустимі значення глибини роботи.



Рис. 2

Амфібійні установки широко застосовуються на мілководді, болотистій місцевості та в складних умовах, виконуючи днопоглиблювальні, будівельні та очисні роботи. Для забезпечення стабільності та безпеки вони оснащені аутригерами двох типів: передні зі знімними поплавками зменшують тиск на воду та поглинають вібрацію, а задні стабілізатори забезпечують стійкість, фіксацію та самостійне пересування. Аутригери дозволяють не використовувати для стабілізації та позиціонування установки якорів та сталевих тросів, здатних перешкодити судноплавству в районі проведення робіт.

Література

1. Pond dredging and more discover the amphibex ae450 URL: <https://amphibex.com/models/ae-450/#spec> (дата звернення: 10.02.2025).
2. Земснаряд амфибия URL: <https://zemsnyaryad.dragflow.net/zemsnyaryad-amfibiya/#ekskavator> (дата звернення: 09.02.2025)
3. HKD-III Amphibious Multipurpose Dredger URL: <https://www.chinadredging.com/hkd-%E2%85%A2-amphibious-multipurpose-dredger/> (дата звернення: 09.02.2025)
4. Watermaster The Amphibious Multipurpose Dredger URL: <https://watermaster.fi/capabilities/> (дата звернення: 08.02.2025)

ПОРІВНЯННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖИ МІЦНОСТІ ПРИЗМАТИЧНИХ ЗРАЗКІВ ГІРНИЧИХ ПОРІД

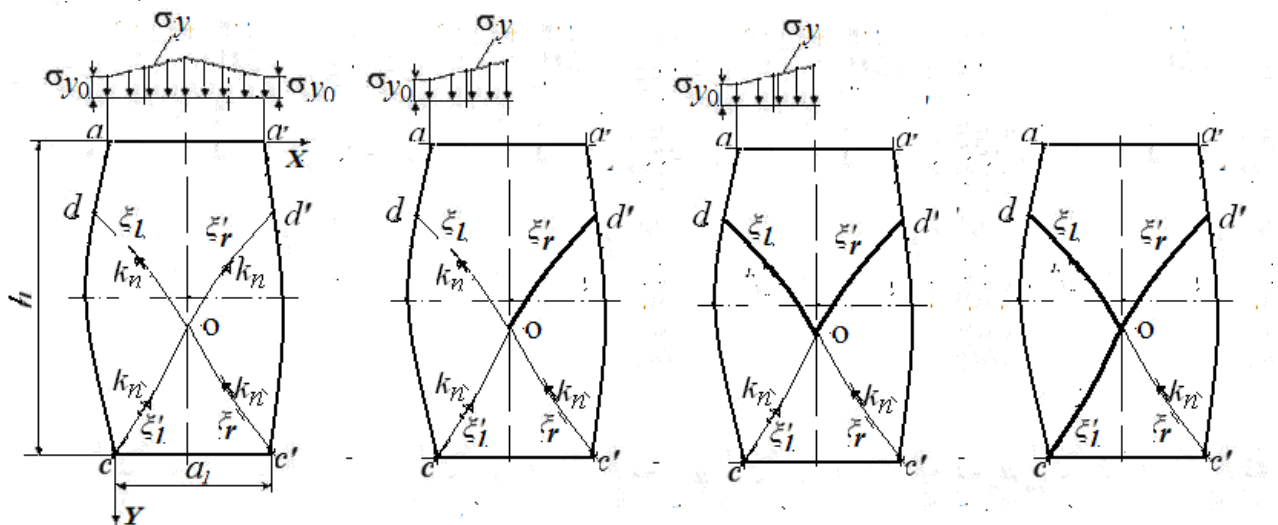
Аспірант Різо З.М

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

1. Вступ. Механічні властивості гірських порід визначають їхню стійкість до руйнування під час видобутку корисних копалин і проходки гірничих виробок. Випробування на стискання регламентуються різними стандартами, що застосовуються у світі. Водночас у Європі прийняті стандарти, які враховують вплив контактного тертя на результати випробувань.

У зв'язку з євроінтеграцією України актуальним є розроблення методів розрахунку меж міцності зразків, що відповідають європейським стандартам. У статті представлено аналітичні методи розрахунку міцності призматичних зразків із використанням теорії ліній ковзання та експоненційного розподілу контактних нормальних напружень за Є. П. Унковим.

2. Методика. Дослідження базується на припущенні про викривлення форми тіла під час деформації. Контактні напруження враховуються відповідно до правил парності дотичних напружень. Визначаються умови розвитку тріщин у різних формах руйнування (усічено-клинова, поздовжня, клинова, діагональна) [1].



а) на момент передруйнування; б) у момент утворення сторони клину;
с) у момент формування клина; д) в момент формування клиноподібної форми

Рис. 1

Ключовим параметром є межа міцності за відсутності контактного тертя, яка порівнюється з розрахунковими значеннями для зразків різної висоти. Використовується модифікований критерій міцності Кулона, який дозволяє врахувати ефекти внутрішнього тертя та нормальних напружень.

3. Основні результати

1. Аналітичні методи дозволяють визначити межу міцності призматичних зразків із високим ступенем відповідності експериментальним даним.

2. Показано, що зі збільшенням висоти зразка його міцність знижується через зменшення контактного тертя.
3. Запропонований підхід дозволяє оцінити граничні напруження в точках зародження тріщин і їхній подальший розвиток.
4. Встановлено, що процес розвитку тріщин відповідає критерію максимальних ефективних дотичних напружень.

4. Висновки Запропонований аналітичний метод може бути використаний для розробки нових стандартів випробувань гірських порід в Україні. Він дозволяє оцінити межу міцності без впливу контактного тертя, що сприятиме гармонізації вітчизняних методик з європейськими стандартами.

Література

1. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения прочности при одноосном сжатии. – М.: Гостстандартиздат, 1984. – 84 с.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартиформ, 2010. – 102 с.
3. Васильев, Л.М. Механика образования форм разрушения образцов горных пород при их сжатии: монография / Л.М. Васильев, Д.Л. Васильев, Н.Г. Малич, А.А. Ангеловский. – Днепро: ИМА-пресс, 2018, 150 с.
4. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
5. Несмашный, Е.А. Оптимизация геометрических параметров открытых горных выработок. / Е.А. Несмашный. – Кривой Рог: Минерал, 2001. – 118 с.
6. Литвинский, Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов / Г.Г. Литвинский. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 190 с.
7. Шашенко, А.Н. Деформируемость и прочность массивов горных пород / А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, С.Н. Гапеев. – Дніпропетровськ: НГУ України, 2008.–224 с
8. Петренко, В.Д. Проблема визначення деформацій оправи перегінних тунелів при суттєвій зміні інженерно-геологічних умов / В.Д. Петренко, О.Л. Тютюкін, Є.Ю. Кулаженко //Зб.наук.пр. "Мости та тунелі, теорія, дослідження, практика" / ДНУЗТу. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип.5. – С. 62-69.
9. Петренко, В.Д. Оцінка стійкості природних східів методами математичного моделювання в програмі "ОТКОС" / В.Д. Петренко, О.Л. Тютюкін, О.І. Лубінчик, В. Р. Кільдеев // Зб.наук.пр. Дніпропетровського університету залізничного транспорту "Мости та тунелі, теорія, дослідження, практика" / ДНУЗТу.– Дніпропетровськ., 2015. – Вип.8. – С. 23-32.
10. Irfan Ghani, Dynamic Development of Hydrofracture / Irfan Ghani, Daniel Koehn, Renaud Toussaint, Cees Willem Passchier // Pure and Applied Geophysics – 2013. – Vol. 170. – Iss. 11 – pp. 1685 – 1703.
11. Zhang, L. Evaluation of rock strength criteria for wellbore stability analysis / L. Zhang, P. Cao, K.C. Radha // Int J Rock Mech Min Sci. – 2010. – Vol. 47. – Iss. 8. – P. 1304-1316.
12. Mingqing, Y. Mechanical characteristic of the exponential strength criterion under conventional stresses / Y. Mingqing // Int J Rock Mech Min Sci. – 2010. – Vol. 47. – Iss. 2. – P. 195-204.
13. Zhao, X.G. A mobilized dilation angle model for rocks/ X.G. Zhao, M. Cai// Int J Rock Mech Min Sci. – 2010. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 368-384.
14. Feiying Ma, Staged Coalbed Methane Desorption and the Contribution of Each Stage to Productivity / Feiying Ma, Yongqing Wang, Haitao Li, Lin Wang, Hui Wang, Rui Jiang // Chemistry and Technology of Fuels and Oils – 2014. – Vol. 50. – Iss. 4 – pp. 344-353.
15. Erik Eberhardt, The Hoek–Brown Failure Criterion / Erik Eberhardt // Rock Mechanics and Rock Engineering – 2012. – Vol. 45 – Iss. 6 - pp 981–988.
16. Agustawijaya, D. S., The Influence of Rock Properties and Size into Strength Criteria: A Proposed Criterion for Soft Rock Masses / Agustawijaya, D. S. // Civil Engineering Dimension – 2011. – Vol. 13 – Iss. 2 – pp 75-81.

ІНТЕГРАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ДРОНОМ У YUETLITY-STUDIOS (UNITY) ЗА ДОПОМОГОЮ ДЖОЙСТИКІВ VR-АПАРАТУРИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАДАНОГО МАРШРУТУ У ВІРТУАЛЬНІЙ РЕАЛЬНОСТІ

Доцент Шкут А.П., студент групи 133-23 Акулінін Д.Р.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Сучасні технології віртуальної реальності (VR) відкривають широкі можливості для навчання операторів безпілотних літальних апаратів у безпечних умовах. Одним із ключових завдань підготовки пілотів дронів є формування навичок керування в різних сценаріях, зокрема обхід перешкод, маневрування в обмеженому просторі та адаптація до динамічно змінюваних умов. У межах цього проєкту розроблено VR-середовище для симуляції керування дроном, яке дозволяє користувачам освоювати техніку пілотування в інтерактивному та реалістичному віртуальному просторі.

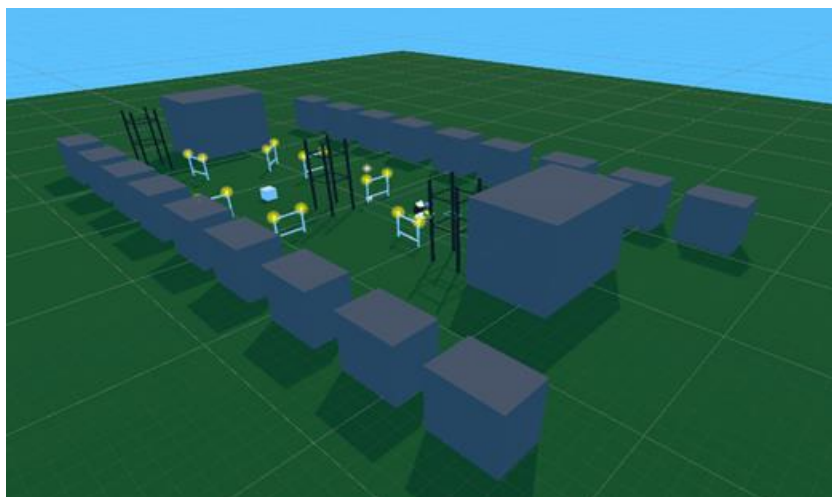


Рис. 1

Розробка середовища здійснювалася з використанням ігрового двигуна Unity. У межах проєкту була створена сцена з заздалегідь продуманими перешкодами, що допомагають користувачеві опанувати керування дроном у наближених до реальності умовах. Віртуальне середовище містить систему світлових індикаторів, які позначають маршрут. Це допомагає оператору орієнтуватися у просторі та контролювати правильність проходження траси.

Важливим етапом розробки стала інтеграція моделі дрона у VR-середовище та створення скриптів для керування його рухом. На початковому етапі тестування використовувався варіант керування за допомогою фізичного пульта, підключеного до комп'ютера. Однак цей метод виявився незручним: по-перше, постійне підключення обмежувало мобільність користувача, а по-друге, у VR-режимі оператор не міг бачити фізичний пульт, що значно ускладнювало керування. Це призвело до пошуку альтернативного рішення, у результаті чого була розроблена цифрова модель пульта, а керування перенесене на VR-контролери. Такий підхід не лише спростив процес взаємодії, а й дозволив оператору використовувати контролери для виконання додаткових

дій. Ще однією важливою проблемою стало визначення оптимального режиму видимості для оператора. Розглядалися два варіанти: керування дроном від першої особи (через камеру, встановлену на ньому) та керування, коли оператор спостерігає за дроном збоку. Тестування показало, що варіант із видом від першої особи, під час польоту дрону викликав сильну нудоту у більшості користувачів, що робить його непридатним для тривалого використання. У результаті прийнято рішення зупинитися на варіанті керування збоку, який забезпечував комфорт та кращу координацію рухів.

У фінальній версії VR-середовища оператор проходить навчальний курс, що включає серію завдань на маневрування та подолання перешкод. Світлові індикатори сигналізують про точки, через які дрон повинен пролетіти, що допомагає користувачеві слідкувати за маршрутом і коригувати свою траєкторію. Таким чином, розроблене середовище дозволяє не лише освоїти базові принципи керування дроном, а й покращити точність, швидкість реакції та впевненість у пілотуванні. Подальший розвиток передбачає розширення сценаріїв, додавання нових моделей дронів і впровадження мультиплеєрного режиму. VR-симулятор відкриває нові можливості для якісної підготовки операторів, роблячи навчання доступним та безпечним.



Рис. 2

Розроблене VR-середовище забезпечує безпечне та ефективне навчання операторів дронів, дозволяючи відпрацьовувати навички без ризику аварій. Використання VR-контролерів замість фізичного пульта підвищило зручність керування, а режим управління зі сторони мінімізував дискомфорт.

Література

1. Lege, R., & Bonner, E. (2018). The state of virtual reality in education. The Language and Media Learning Research Center Annual Report, 2017, 149–156. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
2. Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. Learning and Instruction, 60(November), 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>

ОЦІНКА ВПЛИВУ РИФЛЕННЯ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВІДВОДУ ТА МІЦНОСТІ СТВОЛІВ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

Учень Іваненко І.В.

Ліцей №26, м. Нікополь

доцент Шкут А.П., асистент Симоненко В.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Проектування стволів сучасної вогнепальної зброї є складним процесом, що включає аналіз термічних та механічних навантажень. Ефективне тепловідведення сприяє підвищенню довговічності та точності зброї.

Мета роботи – дослідити вплив різних типів рифлення теплові та механічні характеристики стволів вогнепальної зброї зокрема при здійсненні серії пострілів.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів дослідження для вдосконалення конструкцій сучасної вогнепальної зброї. Також, на основі науково-дослідницької роботи створено практичні роботи для дисципліни «Основи комп'ютерного інжинірингу» на кафедрі інжинірингу і дизайну у машинобудуванні в НТУ «Дніпровська політехніка».

Процеси охолодження стволів вогнепальної зброї є важливими для забезпечення їхньої ефективності, довговічності та стійкості до термічних деформацій. Виконано моделювання у SolidWorks Simulation для аналізу процесу охолодження після серії пострілів. Восьмикутне спіралеподібне рифлення продемонструвало найефективніше охолодження – температура ствола знизилася на 60,33% за 60 хвилин. Оптимальні характеристики швидкості охолодження також спостерігались у стволах із поздовжнім рифленням (55,87%) та восьмикутним рифленням (55,18%).

Аналіз теплових епюр показав, що завдяки збільшенню площі поверхні ствола тепло відводиться ефективніше. Дослідження довело, що використання рифлення впливає на рівномірність температурного розподілу та зменшення локальних зон перегріву, що особливо важливо для зброї, яка працює в умовах серійної стрільби.

Встановлено, що процес остигання підпорядковується експоненціальному закону, коефіцієнти рівняння якого залежить від типу рифлення. Отримані дані підтверджують, що вибір геометрії рифлення суттєво впливає на температурне нагрівання та швидкість її зниження. Візуалізацію результатів

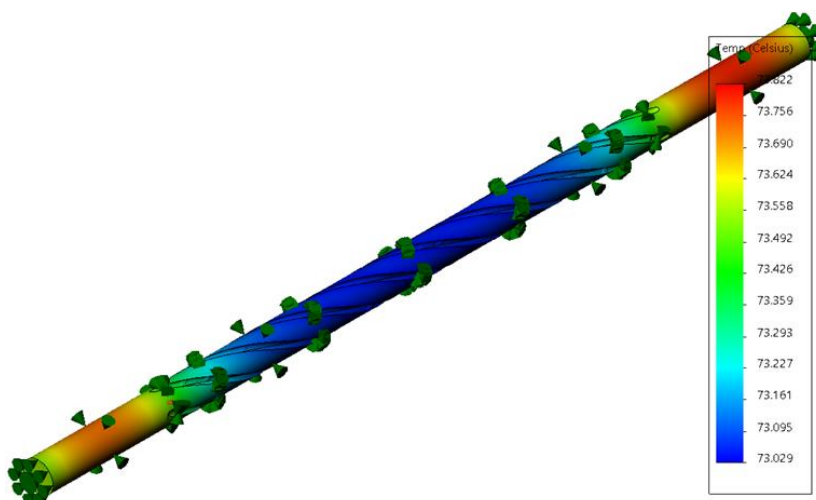


Рис. 1

представлено на рис. 1, де показано епюру розподілу тепла в стволі зі спіралевидним 4-х західним рифленням після 300 с остигання.

Рифлення покращує тепловідвід, проте змінює розподіл напружень, що може впливати на довговічність стволів. Проведене моделювання в SolidWorks Simulation показало, що максимальні напруження виникають у стволах із поздовжнім рифленням (+23,39% порівняно з базовою моделлю). Водночас восьмикутне спіралеподібне рифлення забезпечує збалансоване співвідношення ефективного тепловідведення та допустимих рівнів напружень.

На рис. 2 показано розподіл напружень у стволі під час пострілу.

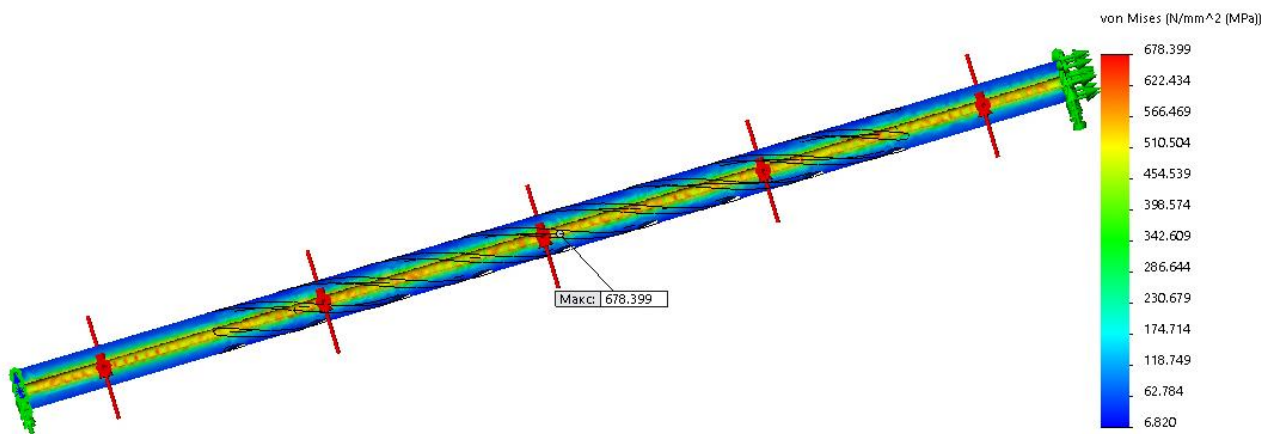


Рис. 2

Дослідження виявило, що при виборі рифлення необхідно враховувати не лише ефективність тепловідведення, але й механічні характеристики. Встановлено, що найкращі результати співвідношення між швидкістю охолодження ствола та рівнем напружень, які виникають під час пострілу, демонструє восьмикутне спіралевидне рифлення. Зокрема, протягом 60 хв. ствол із таким типом рифлення знижує температуру на 30°C, що відповідає 60,33% від початкової температури. Водночас у цій моделі спостерігається збільшення рівня напружень, які виникають під час пострілу, на 16,32% порівняно з базовою моделлю. Максимальні напруження, що виникли складають 685,82 МПа, при допустимих 855 МПа. Такий результат свідчить про те, що восьмикутне спіралевидне рифлення забезпечує ефективне охолодження, при незначному підвищенні напружень.

Дослідження підтвердило значний вплив геометрії рифлення на термічні та механічні характеристики стволів. Оптимальним варіантом для забезпечення швидкого охолодження та механічної стійкості є восьмикутне спіралеподібне рифлення, з оптимальним відношенням температури ствола та напруження, що у ньому виникають під час пострілу.

Література

1. Kurowski Paul, Ph.D., Eng P. (2023). Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2023. USA: SDC Publications. p.592 ISBN: 978-1-63057-552-6
2. ASM International. ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. Materials Park, OH: ASM International, 1990. ISBN: 978-0871703774.

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ КВАНТИЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО АНАЛІЗУ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Доцент Головка Ю.М., доцент Клименко Д.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Зміни в спектрах сейсмоакустичних сигналів, що реєструються в околі шахтних виробок є основою для найбільш оперативного методу попередження про можливість розвинення газодинамічного явища (ГДЯ) [1].

Випадковий шумоподібний характер сигналів обумовлює сильну мінливість спектрально обумовлених характеристик в залежності від параметрів спектрального оцінювання (частоти дискретизації, довжини сигналу, довжини та кількості сегментів, типу вікна згладжування, величини зсуву сегментів, додавання нульових відліків) [2]. Відповідно, значну мінливість виявляють і прогностичні параметри, що зазвичай спираються на відношення амплітуд частотних складових.

В роботі [3] запропоновано використовувати для формування прогностичних параметрів квантілі кумулятивної функції спектру. Квантілі значно більш стійкі по відношенню до параметрів спектрального оцінювання шумоподібних сигналів. Зміни квантилей адекватно відображають зміни форми та зміщення спектрів, тобто містять інформацію, що є основою при прогнозуванні ГДЯ в шахті за сейсмоакустичними сигналами.

Для візуалізації квантильного підходу до аналізу спектрів може бути використана згорнена кумулятивна функція k -го порядку, як узагальнення відомої згорненої кумулятивної функції – кумулятивний трикутник [4]. З тією ж ціллю може бути використано графічне зображення міжквантильної щільності.

Введемо наступні позначення:

α_i – рівень i -го квантіля, $i = 0, 1, \dots, I$;

$$\Delta\alpha = \alpha_{i+1} - \alpha_i = \frac{1}{I} = \text{const при } i = 1, \dots, I - 2;$$

$$\alpha_1 - \alpha_0 = \alpha_I - \alpha_{I-1} = \Delta\alpha - \Delta\alpha_0; \Delta\alpha_0 = \Delta\alpha.$$

Якщо $I = 8$ і $\Delta\alpha_0 = 0.05$, то маються на увазі квантілі:
 $f_{0.05}, f_{0.125}, f_{0.25}, \dots, f_{0.875}, f_{0.95}$.

На проміжок між квантілями $(f_{\alpha_i}, f_{\alpha_{i+1}})$ припадає $\Delta\alpha$ доля розподіленої величини, а її щільність на цьому проміжку:

$$\frac{\Delta\alpha}{f_{\alpha_{i+1}} - f_{\alpha_i}}, \quad i = 0, \dots, I - 1 \text{ (величиною } \Delta\alpha_0 \text{ порівняно з } \Delta\alpha \text{ нехтуємо)}$$

Будемо відносити цей вираз до «рівномірної щільності», тобто до щільності, яка була б при рівномірному розподілі на всьому проміжку $(f_{\alpha_0}, f_{\alpha_I})$

$$1/(f_{\alpha_I} - f_{\alpha_0}).$$

Отримані величини $q_i = \frac{\Delta\alpha(f_{\alpha_i} - f_{\alpha_0})}{f_{\alpha_{i+1}} - f_{\alpha_i}}, \quad i = 0, \dots, I-1$ будемо називати

міжквантильною щільністю і приписувати до точок на вісі f :

$$\hat{f}_i = \frac{f_{\alpha_{i+1}} + f_{\alpha_i}}{2}, \quad i = 0, \dots, I-1$$

Графіки введеної залежності для спектрів шести сигналів (v1-v6), що побудовані з'єднанням точок з координатами $(\hat{f}_i, q_i)$ приведені на рис. 1. Крім названої залежності на рис. 1а для v1 пунктирною лінією зображений графік, де квантильна щільність показана як стала на міжквантильних проміжках.

Слід зазначити, що переваги робастності квантилів одночасно обумовлюють згладжування яскраво виражених гармонійних складових. Крім того, і кумулятивний трикутник і міжквантильна щільність можуть бути корисними для візуалізації та аналізу, але вони не містять ніякої інформації крім тої що містять квантилі. Тому будувати прогностичні параметри доцільно безпосередньо в термінах квантилів.

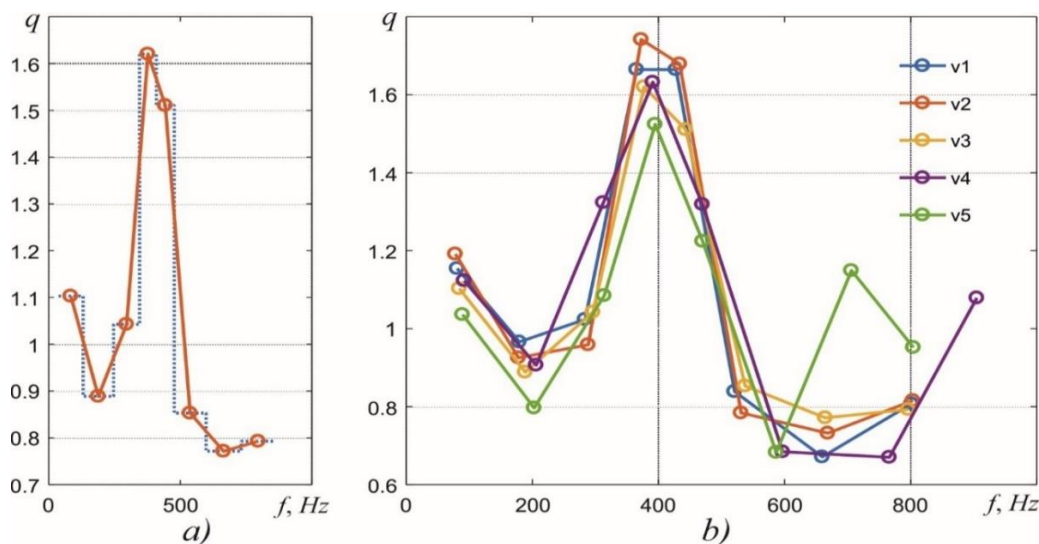


Рис. 1

Література

1. СОУ 10.1.00174088.011–2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах схильних до газо–динамічних явищ. [Чинний від 2005–12–30]. Вид. офіц. Київ: Мінвуглепром України, 2005. – 224 с.
2. Головка Ю. М. (2023). Спектральне оцінювання широкосмугового шумового сигналу обмеженої тривалості. Математичне моделювання. – Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2 (49), 86 – 97. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.2\(49\)2023.292638](https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(49)2023.292638)
3. Головка Ю.М., Шашенко О.М. (2024) Про обчислення прогностичних параметрів газодинамічних явищ за спектрами сейсмоакустичних сигналів. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 78. С. 112–127. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/78.112>
4. Golovko Yu., Sdvyzhkova O. (2024) Cumulative triangle for visual analysis of empirical data. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (4), 114-120. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/114>

ЗМІСТ

Панченко О.В., Заболотний К.С., Шкут А.П., Симоненко В.В. Апробація ОПП «Віртуальний дизайн у машинобудуванні: освітня підготовка фахівців для цифрової трансформації галузі»	3
Заболотний К.С., Панченко О.В. Дослідження напружено-деформованого стану механізму маніпулятора тубінгоукладача з використанням інтегрованого підходу в SOLIDWORKS	6
Булат А.Ф., Шевченко Г.О., Чолишкіна В.В., Курілов В.С., Кашинський Є.П. Геотехнічні підходи до переробки техногенних покладів ТЕС: порівняльний аналіз Придніпровської ТЕС та Краматорської ТЕЦ	8
Ковіреєв М.В., Заболотний К.С., Панченко О.В. Особливості моделювання гумотросового каната в багатопаровому намотуванні в програмі SolidWorks Simulation	10
Шевченко В.Г., Шевченко Г.О., Сухарєв В.В., Титов О.О., Самодрига О.А. Дослідження процесу подрібнення матеріалів в кульовому млині з віброударним полічастотним приводом	12
<u>Франчук В.П.</u> , Анциферов О.В., Гавриленко С.С. Амплітудно-частотна характеристика вібраційного грохота- перевантажувача	13
Никитюк М.В., Панченко О.В., Заболотний К.С. Порівняльний аналіз конструктивних характеристик сучасних вітчизняних вагоноперекидачів ПАТ «Дніпроважмаш»	15
Круковська В.В., Круковський О.П. Моделювання процесу нагнітання рідкого полімеру в тріщинуватий масив за допомогою ін'єкційних анкерів	17
Антончик В.Є., Ганкевич В.Ф., Янжула О.С. Удосконалення буріння свердловин в міцних гірських породах	19
Сухарєв В.В., Пелих І.В., Кононов Д.О., Мозолєвський Д.С. Математична модель руху вібраційного живильника з урахування характеристики асинхронного електродвигуна	22
Виноградов Ю.О. Дослідження впливу тимчасового затоплення гірничих виробок на стан приконтурних порід	25

Круковський О.П. Взаємодія анкерного кріплення з блочно-структурованим породним масивом	27
Krukovskiy Dmytro Automatization of mine support calculation	29
Ільїн С.Р., Адорська Л.Г., Ільїна І.С. Методи динамічного контролю системи «підйомна посудина - армування» у шахтних стовбурах	31
Кухар В.Ю. Визначення водопоглинання графітонаповненого поліаміду	33
T. Moskalova, M. Polushina Model of the foundation of a 300 mw turbo-generator for studying the impact of static and dynamic loads	36
Ostapenko N., Kryuchkova S., Kyrychenko V., Bondarenko L. Application of risk-formalization to determine the environmental friendliness of technological processes	38
Лисиця М.І., Новікова А.В., Агальцов Г.М., Лисиця Н.М., Калганков Є.В. Прогнозування надійності еластомерних деталей за зміною жорсткісних параметрів	40
Лисиця М.І., Новікова А.В., Агальцов Г.М. Лисиця Н.М., Калганков Є.В. Ризик-аналіз конструкцій з еластомерними елементами з позиції механіки руйнування	42
Лапшин Є.С., Шевченко О.І. Тонке вібраційне грохочення – перспективи застосування при переробці техногенної сировини	44
Маланчук З.Р., Корнієнко В.Я., Васильчук О.Ю., Христюк А.О., Лозін Д.А. Сепаратор для очищення сипучих матеріалів від феродомішок	47
Deineka K.Yu., Naumenko Y.V., Zhabchyk S.V. Innovative self-oscillating working processes for processing granular materials in drum-type technological machines	48
Мінко О.Ю., Рябко А.І. Розвиток загроз забруднення гідросфери в умовах екзогенних процесів	51
Мінесєв С.П., Калугина Н.О., Ганкевич В.Ф., Уколов Т.М., Лівак О.В., Кіба В.Я. Підвищення продуктивності буріння свердловин в крипких і надкрипких гірських породах	54

Авраменко С.О., Лайков Д.В., Маліч М.Г. До питання підвищення енергоефективності процесу дроблення у щоківих дробарках зі складним рухом щоки	56
Рябко А.І., Мінко О.Ю. Аналіз чисельних методів розрахунку моделей стійкості укисних систем	58
Рябцев О.В., Пономаренко С.М., Кабакова Л.Б. Дослідження впливу характеристик гірської породи на основні технологічні параметри транспортування трубопровідними системами з кільцевим ежектором	61
Осіння Н.В. Руйнування гірських порід низькотемпературною плазмою	64
Медведєва О.О., Гальченко З.С. Напрямки розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні на прикладі застосування вітроенергетичних установок	65
Бондаренко А.О., Черкашин М.О. Перспективи застосування вертикальних класифікаторів при переробці техногенної сировини	67
Бондаренко А.О., Богачик Д.В. Розробка технічного проекту підводного скреперно-всмоктувального комплексу продуктивністю 30 т/год.	69
Бондаренко А.О., Бублейник О.С. Опорні конструкції вертикального гідравлічного класифікатора	71
Бондаренко А.О., Забігай А.М. Розробка технічного проекту грохоту ГЗВ 0,9 з системою зрошування	72
Бондаренко А.О., студент Толкач В.С. Розробка технічного проекту грохоту ULS 1,5×0,6 для переробки вугілля	73
Бондаренко А.О., студентка Тонконогова Є.В. Розробка технічного проекту установки для переробки вугілля продуктивністю 50 т/год.	74
Осінній В.Я. Про застосування низькотемпературної плазми у гірничорудній промисловості	75
Калганков Є.В., Лисиця М.І, Агальцов Г.М., Новікова А.В., Черній О.А. Експериментальне дослідження процесів старіння та факторів, що визначають довговічність гумових футеровок млинів	77
Мухачев А.П., Єлатонцев Д.О. Застосування вакуум-випарних установок у технології рідкісних металів	80

Кірія Р.В., Смірнов А.М., Мостовий Б.І., Лисиця М.І., Калганков Є.В. Перспективи повторного використання перероблених гумово-кордних матеріалів у машинобудуванні	81
Fedoskina O.V., Erisov M.M., Fedoskin V.O. Innovative small-sized mobile technological line for recycling waste from destruction in the area of their formation	84
Кухар В.Ю., студент Ніколаєнко Д.П. Розрахунок та вибір редуктора і підшипникового вузла для живильника ДТ-20А з урахуванням його конструктивних особливостей	86
Кухар В.Ю., Беркут І.А. Проектування коромисла з гідравлічним приводом автоматичного гідравлічного ліфта	
Кухар В.Ю., Година С.Є. Види та галузі використання аутригерів сучасних амфібійних грейферних установок	
Різо З.М. Порівняння достовірності експериментальних методів визначення межі міцності призматичних зразків гірничих порід	
Шкут А.П., Акулінін Д.Р. Інтеграція управління дроном у Yuetlity-Studios (Unity) за допомогою джойстиків VR-апаратури для виконання заданого маршруту у віртуальній реальності	
Шкут А.П., Іваненко І.В. Оцінка впливу рифлення на забезпечення тепловідводу та міцності стволів вогнепальної зброї	
Головко Ю.М., Клименко Д.В. Візуалізація квантильного підходу до аналізу спектральних характеристик сейсмоакустичних сигналів	