

ПРО МОНИТОРИНГ ГЕОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ ПІД ТЕХНОГЕННИМ ВПЛИВОМ

С.В. Тинина¹, І.І. Чоботько^{2*}, Є.А. Кулак¹, Г.М. Шевельова³

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

²Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

³Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, м. Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: e-mail: efilonov79@gmail.com

MONITORING OF GEOMECHANICAL SYSTEMS UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE

S.V. Tynyna¹, I.I. Chobotko^{2*}, Y.A. Kulak¹, H.M. Shevelova³

¹M.S.Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

²Branch for Physics of Mining Processes in the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

³Institute of Technical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: efilonov79@gmail.com

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the study is to improve the monitoring systems of man-made facilities: quarries, waste heaps and tailings (sludge pits) with increased environmental hazards.

Methods. In preparation for the research, the following tasks were set: to analyse the problem and assess the main types of monitoring of man-made objects, to establish the main advantages and disadvantages of using methods of monitoring and controlling the environmental state of geomechanical systems.

Findings. Based on the conducted research, the results indicate the effectiveness of using monitoring methods to determine the state of geomechanical systems under anthropogenic influence. The factors influencing their stability and functionality are identified.

Originality. It is established that the study has made an important contribution to the development of methods for monitoring geomechanical systems under the influence of anthropogenic factors, revealing new opportunities for the use of UAVs.

Practical implications. The results obtained can be used to improve the safety systems of man-made facilities and develop effective strategies for managing geomechanical systems under anthropogenic influence. This can be useful for both industrial enterprises and environmental control authorities.

Keywords: monitoring system, technogenic objects, geomechanical systems, environmental hazard

1. ВСТУП

На теперішній час в Україні нараховується близько 1700 породних відвалів, 300 виведених з експлуатації кар'єрів та 344 хвостосховища (шламосховища), які є геомеханічними об'єктами та потребують постійного моніторингу [1].

Згідно Закону України «Про управління відходами» № 2320-ІХ від 31.03.2023 р. у ст. 40. Загальні вимоги до захоронення відходів говориться, що власник (балансоутримувач) полігона або суб'єкт господарювання, що здійснює управління полігоном, забезпечує проведення рекультивації полігона після припинення його експлуатації, а також догляд за ним після його рекультивації протягом 30 років. Догляд за об'єктами після припинення їх експлуатації включає дії, пов'язані з утримання після припинення їх експлуатації, із здійсненням контролю і моніторингу параметрів навколишнього природного середовища, з усуненням можливих негативних впливів полігона на здоров'я людей та навколишнє природне середовище [2].

Станом на сьогоднішній день є достатньо вивчено вплив техногенних родовищ як окремих геомеханічних систем на навколишнє середовище. До таких систем відносяться: кар'єри, породні відвали та хвостосховища (шламосховища). Як люба геомеханічна система техногенного формування вони мають свої негативні наслідки на екологічну безпеку при цьому їх можна класифікувати за видами екологічної небезпеки [3, 4].

Кар'єри:

- обрушення бортів кар'єра;
- підтоплення кар'єру ґрунтовими водами.

Породні відвали:

- термічне самозаймання;
- змив уклону відвалу під впливом дощових опадів;
- термічний викид зсуву ґрунту зрушення;
- викид забруднюючих речовин та газів внаслідок тривалого горіння.

Хвостосховища (шламосховища):

- в залежності від ступеня насичення фракційного складу водою небезпека обрушення утримуючої дамби під тиском.

Відповідно потрібно проводити заходи з моніторингу та обліку потенційно небезпечних геомеханічних систем [5].

Система моніторингу геомеханічних об'єктів має ряд переваг, серед яких:

- безпека: в гірництві геомеханічні системи можуть бути піддатливі різним видам навантаження та тискам. Моніторинг допомагає вчасно виявляти зміни в структурі ґрунту або гірських порід, а також попереджати про потенційні загрози, такі як обвали, зсуви, обвалення, руйнування тощо. Це до-

помагає забезпечити безпеку працівників та громади, які можуть перебувати поруч із такими спорудами;

- оптимізація виробництва: моніторинг геомеханічних систем дозволяє оптимізувати процеси видобутку. Знання про стан ґрунту чи порід дозволяє приймати обґрунтовані рішення стосовно розташування інфраструктури, розробки родовищ або планування щодо складування та експлуатації таких систем;

- зменшення втрат: моніторинг може допомогти зменшити втрати в разі аварій, таких як обвали, виливи гірничих вод, обвалення тунелів тощо. Вчасне виявлення проблем дозволяє приймати заходи для їхнього усунення та зменшення наслідків;

- збільшення терміну служби: Моніторинг може допомогти виявити ознаки старіння або деградації інженерних споруд та приймати заходи для їхнього підтримання та ремонту, що сприяє збільшенню їхнього терміну служби [6];

- ефективність ресурсів: за допомогою моніторингу можна визначити, як краще розподіляти ресурси, такі як енергія та робоча сила, для забезпечення оптимальної роботи геомеханічних систем.

Дедалі більше набирає широке застосування безпілотних летальних апаратів (БПЛА) при моніторингу екологічного стану техногенних об'єктів. У 2021 році вийшла наукова робота під назвою «Моніторинг потенційного самозаймання у вугільному відвалі після рекультивації за допомогою безпілотного літального апарата за RGB-знімками на основі надземної біомаси люцерни», країна Китай [7].

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження полягає у вдосконаленні системи моніторингу техногенних об'єктів: кар'єрів, породних відвалів та хвостосховищ (шламосховищ) з підвищеною екологічною небезпекою.

3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При підготовці до проведення досліджень ставилися наступні завдання: проаналізувати проблему і дати оцінку системі моніторингу геомеханічних систем під техногенним впливом.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рисунку 1 виділено техногенні геомеханічні системи до яких належать кар'єри, породні відвали та хвостосховища (шламосховища).

При проєктуванні та розробки кар'єрів невід'ємною частиною є складення паспорту кар'єра до якого входять обов'язкові процедури моніторингу безпекового стану бортів кар'єру та нагляд за станом гідро-геологічного режиму підземних вод для безпечного виконання промислових вибухових робіт, крім того існує ряд вимог для безпечної роботи видобувного обладнання та обслуговуючого персоналу котрі наведено у Наказі № 61 від 18.03.2010 р. Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гір-

ничого нагляду «Про затвердження Правил охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом».

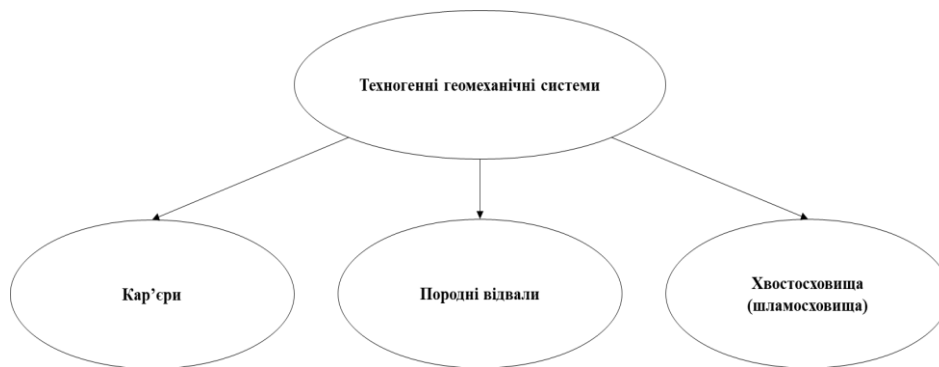


Рисунок. 1. Схема основних об'єктів які відносяться до техногенних геомеханічних систем

Моніторинг породних відвалів проводиться з метою виявлення осередків горіння та контролю теплового стану з метою:

- своєчасного виявлення осередків самонагрівання на діючих відвалах і вжиття заходів для запобігання самозаймання;
- оцінка ефективності заходів щодо зниження інтенсивності горіння породних відвалів;
- отримання даних для розробки проєктів гасіння або розбирання породних відвалів;
- визначення кількості шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу.

При моніторингу хвостосховища (шламосховища) натурні спостереження повинні включати візуальні та інструментальні спостереження. Для безпечної експлуатації хвостосховищ і шламосховищ під час візуальних спостережень необхідно відповідальним посадовим особам підприємств контролювати:

- відповідність зведених гребель і дамб проєкту робіт з підготовки основи і чаші хвостосховища;
- стан укосів, берм і гребеня дамб (гребель) та їх берегових примикань: наявність негативних явищ (просідань, тріщин, переміщень, обвалів);
- стан дренажних пристроїв: наявність підпору, замулювання, просідань, провалів ґрунту і виходів води по трасі дренажу, заболочування, руйнування лотків і колодязів, промерзання дренажу або дренажних випусків;
- стан водоприймальних і водоскидних споруд: наявність тріщин і раковин в стінках споруд, течі в стиках стінок споруд, корозії металоконструкцій, готовність споруд до скидання паводкових вод;
- стан доступних для огляду частин КВА: наявність кришок, погнутості оголовок, нумерації;
- стан укосів, берм і облицювань каналів, наявність під ними вимоїн, розкриття швів, заростання і замулювання [8].

Під час інструментальних спостережень повинні проводитися:

- щоденне вимірювання рівня води в хвостосховищі або шламосховищі;
- періодичний геодезичний (маркшейдерський) контроль за осіданнями і зміщеннями споруд та їх основ, а також за геометричними параметрами споруд;

- виміри положення рівня фільтраційних вод у тілі дамби хвостосховища або шламосховища і рівня підземних вод в основі споруд;
- вимір витрат фільтраційних вод.

На рисунку 2 зображено типи моніторингу геомеханічних систем. Кожен з них окремо є важливим при контролі стану геомеханічних об'єктів. При виконанні БПЛА ми відразу поробимо два види контролю: візуальний та тепловий [9]. Моніторинг на основі лабораторних досліджень є обов'язковою складовою при контролі стану техногенних об'єктів. Це дозволяє отримувати високоякісні дані, які дають можливість докладно аналізувати властивості матеріалів та динаміку змін в геомеханічних системах. Використання БПЛА надає можливість здійснювати візуальний огляд об'єктів з висоти, що забезпечує широкий огляд і дозволяє виявляти можливі проблеми або зміни на місцях, де це складно здійснити за допомогою стандартних методів. Такий комплексний підхід до моніторингу геомеханічних систем забезпечує більш повну та об'єктивну інформацію, що є важливим для забезпечення безпеки та ефективного управління техногенними об'єктами.

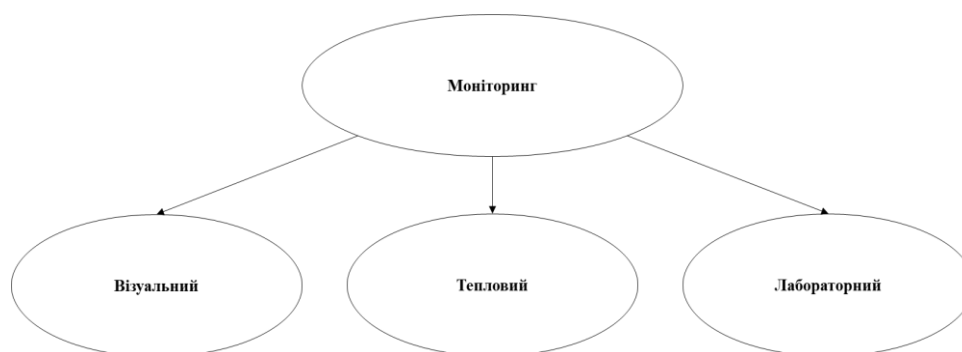


Рисунок 2. Види моніторингу який доцільно застосовувати для контролю стану геомеханічних систем

На рисунку 3 зображено схему використання БПЛА при тепловій зйомці породного відвалу. При використанні зазначеної схеми маємо ряд переваг, до яких відносяться:

- висока точність: БПЛА дозволяють отримувати термальні зображення з високою роздільною здатністю, що дозволяє точно визначати температурні зони на поверхні породного відвалу;
- можливість віддаленого моніторингу: використання БПЛА дозволяє здійснювати теплову зйомку з висоти, що дозволяє працівникам безпеки віддалено контролювати стан породного відвалу без необхідності фізично знаходитися на місці;
- збільшення швидкості та продуктивності: БПЛА дозволяють проводити теплову зйомку значно швидше порівняно з традиційними методами, що призводить до збільшення продуктивності та скорочення часу моніторингу;
- ефективність та безпека: використання БПЛА зменшує ризики для працівників та забезпечує ефективний моніторинг геомеханічних систем без необхідності вступати в небезпечні зони;

– аналіз інформації: термальні зображення, отримані за допомогою БПЛА, можуть бути піддані подальшому аналізу та обробці для виявлення потенційних ризиків та виявлення змін у геомеханічних системах.

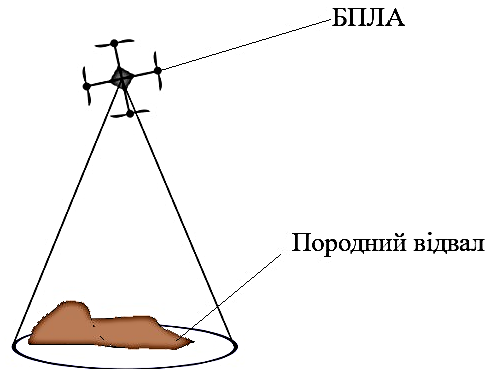
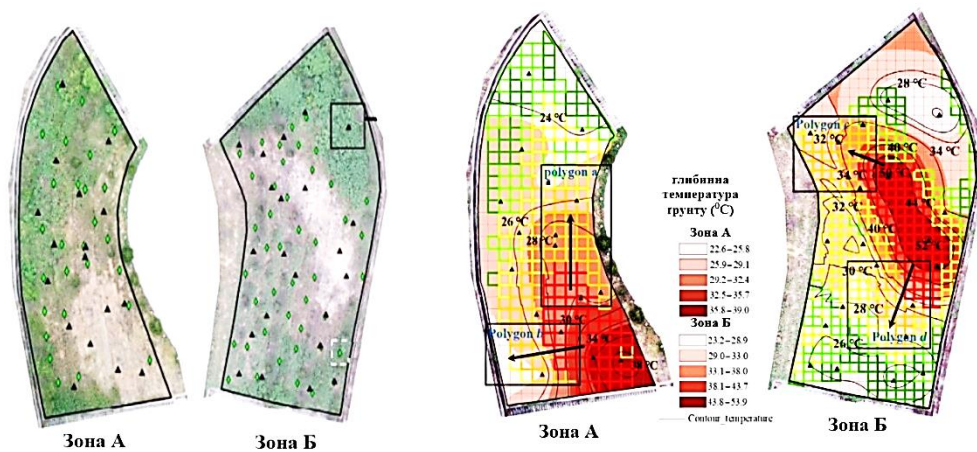


Рисунок 3. Зображення моніторингу породного відвалу з застосуванням БПЛА

На рисунку 4 зображено зйомку породного відвалу з застосуванням БПЛА з метою моніторингу з використанням RGB-зображень безпілотного літального апарату (БПЛА) на основі надземної біомаси люцерни (AGB) проведено китайськими фахівцями де наглядно продемонстровано переваги від використання БПЛА [10]. З використанням БПЛА ми отримуємо температурну карту всього породного відвалу, що дозволяє отримати весь спектр параметрів масиву даних необхідних для проведення якісного моніторингу техногенного об'єкту. Таким чином ми можемо будувати термічні моделі геомеханічних систем задля їх екологічного моніторингу [11, 12].



Зйомка породного відвалу у звичайному режимі

Зйомка породного відвалу при застосуванні тепловізійного режиму

Рисунок 4. Зразок зйомки породного відвалу з застосуванням БПЛА [10]

Для здійснення теплової зйомки поверхні відвалів можна використовувати такі (БПЛА) як DJI Inspire, DS700 THOR, БПЛА з тепловізором Flir Aerial, DJI Phantom 4 PRO, DJI Phantom 2 vision з тепловізором FLIR TAU 2, та DJI Phantom 3 Standard [13].

У таблиці 1 наведено застосування методів моніторингу геомеханічних систем та техногенних об'єктів і основні завдання які вони вирішують. Наведено застосування рекомендованих БПЛА в залежності від типу моніторингу техногенних об'єктів та часу вимірювань поданих в таблиці 2 [14, 15].

Таблиця 1. Моніторинг геомеханічних систем

Параметр моніторингу	Методи моніторингу	Ціль дослідження
Зсуви та деформації	Геодезичний моніторинг	Виявлення та прогнозування зсувів та деформацій в гірничих масивах та будівлях. Оцінка безпеки
Геофізичні параметри	Геофізичний моніторинг	Дослідження фізичних властивостей ґрунтів та порід, виявлення можливих рухів або підземних процесів
Шум та вібрації	Моніторинг шуму та вібрацій	Визначення впливу техногенного шуму та вібрацій на геомеханічні системи та споруди. Оцінка комфорту та безпеки.
Параметри навколишнього середовища	Моніторинг середовища	Виявлення впливу змін в середовищі (водні рівні, концентрація газів) на геомеханічні системи. Оцінка можливих загроз
Сейсмічна активність	Сейсмічний моніторинг	Виявлення та реєстрація землетрусів та підземних сейсмічних явищ, що можуть вплинути на геомеханічні системи.
Температурні зміни	Моніторинг температурних змін	Визначення впливу температурних змін на геомеханічні системи та можливі деформації матеріалів. Оцінка стійкості
Дані з датчиків та відеоспостереження	Датчики, відеоспостереження	Збір даних для аналізу та візуального спостереження за станом геомеханічних систем та їх змінами
Моделювання та аналіз даних	Комп'ютерні програми	Створення моделей та аналіз зібраних даних для передбачення можливих ризиків та оптимізації експлуатації систем

Таблиця 2. Використання БПЛА для моніторингу техногенних об'єктів

Параметр	Тип моніторингу	Метод моніторингу	Використане обладнання (БПЛА)	Час вимірювань	Результати
Температура повітря	Візуальний	Теплова камера	DJI Inspire	Щогодні	Записи температури повітря на поверхні відвалу
Кількість зелених насаджень	Візуальний	RGB-камера	DJI Phantom 4 PRO	Раз на місяць	Картографування зелених зон та їх змін
Рівень шуму	Аудіо	Запис аудіосигналів	DS700 THOR	Постійно	Моніторинг рівня шуму у навколишньому середовищі
Теплова карта поверхні	Тепловий	Тепловізор Flir Aerial	DJI Phantom 2 vision з тепловізором FLIR TAU 2	Раз на тиждень	Зображення температурної динаміки відвалу

5. ВИСНОВКИ

Екологічний моніторинг за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є потужним інструментом для стеження за станом навколишнього середовища та збору цінної інформації про екологічні процеси. З використанням БПЛА у сфері екологічного моніторингу можна зробити наступні висновки:

- забезпечення широкого покриття території: Використання БПЛА дозволяє моніторити великі території та важкодоступні регіони, де складно здійснювати моніторинг земельними екіпажами. Це дозволяє отримувати інформацію з різних точок і виходити на високий рівень покриття.
- висока роздільна здатність: БПЛА зазвичай обладнані камерами та сенсорами з високою роздільною здатністю, що дозволяє отримувати деталізовані зображення та дані. Це важливо для точного аналізу екологічних параметрів та змін.
- ефективність і зменшення витрат: В порівнянні з традиційними методами моніторингу, використання БПЛА може бути більш ефективним і економічним. Він дозволяє скоротити витрати на персонал та використання техніки.
- можливості в режимі реального часу: Деякі БПЛА можуть надавати дані в режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на екологічні кризи та події.

- застосування в різних галузях: БПЛА можуть використовуватися для моніторингу лісів, водних ресурсів, забруднення повітря та ґрунту, розвитку ландшафтів та багато інших завдань, що стосуються охорони довкілля.
- збільшення точності даних: Використання БПЛА допомагає уникнути людських помилок і забезпечує об'єктивний підхід до збору і обробки даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кочмар І.М., Карабин В.В. (2021). Екологічна небезпека горіння вугільних териконів та перспективні методи використання відходів вуглевидобутку. *Екологістика. Теорія і практика управління сміттєзвалищами*, 183-197. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11280>
2. Закон України «Про управління відходами» № 2320-IX (2023). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
3. Чоботько І.І., Тинина С.В. (2018). Методи та засоби локалізації осередків самозаймання породних відвалів. *Міжвідомчий збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*, 142, 134-140. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.142>
4. Popovych, V.V., Voloshchyshyn, A.I., Tyndyk, O.S., Menshykova, O.V., Shuplat, T.I., & Bosak, P.V. (2022). Monitoring of Heavy Metals Migration into Edaphic Horizons of Coal Mine Dumps. *Ecologia Balkanica*, 14(2), 63-74. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11373>
5. Хорольський А.О. (2022). Обґрунтування обсягів робіт із закладки виробленого простору твердіючими сумішами на основі відходів гірничого виробництва. *Національний форум «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології»*, 24 листопада, 1-5. <http://surl.li/etajf>
6. Чоботько І.І. (2022). Обґрунтування способів та методів усунення самозаймання відходів гірничого виробництва. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 1(50), 166-171. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-166-171>
7. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>
8. Чоботько І.І., Тинина С.В. (2019). Моніторинг теплового стану породних відвалів. *Журн. «Гірничий вісник» Криворізького національного університету*, 106, 9-13. <http://iomining.in.ua/wp-content/uploads/GV/GM106.pdf>
9. Чоботько І.І. (2022). Створення класифікації способів використання відходів вуглевидобутку. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 24, 128-141. <https://doi.org/10.37101/ftppg24.01.009>
10. Xiao, W., Ren, H., Zhao, Y., Wang, Q., & Hu, Z. (2023). Monitoring and early warning the spontaneous combustion of coal waste dumps supported by unmanned aerial vehicle remote sensing. *Meitan Kexue Jishu/Coal Science and Technology (Peking)*, 51(2), 412-421. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-1901>
11. Rudakov, L.M. (2023). Environmental and operational safety of tailing storage facilities: Analysis of accidents, causes and technical state diagnostic methods. *Environmental safety and natural resources*, 46(2), 66-84. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.66-84>
12. Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Yang, X., Ding, B., & Chen, C. (2022). Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass. *Land Degradation & Development*, 33(15), 2728-2742. <https://doi.org/10.1002/ldr.4297>

13. Кодунов, Б.О., Давиденко, О.О. (2021). Застосування безпілотних літальних апаратів для теплової зйомки відвалів. *IX Міжнародна науково-практична конференція «Технології і процеси в гірництві та будівництві»* (с. 113-118). ДНВЗ «ДонНТУ». <http://surl.li/naxds>

14. Бабець Д.В., Кравченко К.В. (2015). Геомеханічні явища при відпрацюванні кінцевих ділянок лав струговими комплексами. *Монографія - Дніпро: НГУ*, 108.

15. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А. Бабець Д.В. (2006). Оценка геомеханического состояния протяженных выработок с учетом стохастической изменчивости свойств горных пород. *Збірник наукових праць ДонНТУ «Проблеми гірського тиску»*, 14, 144-156.

16. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Бабець Д.В. (2007). Численное моделирование вероятностного распределения свойств горных пород в задачах геомеханики. *Вестник Херсонского национального технического университета*, 2(28), 402-407.

REFERENCES

1. Kochmar I.M., Karabyn V.V. (2021). Ekolohichna nebezpeka horinnia vuhilnykh terykoniv ta perspektyvni metody vykorystannia vidkhodiv vuhlevydobutku. *Ekolohistyka. Teoriia i praktyka upravlinnia smittiezvalyshchamy*, 183-197. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11280>

2. Закон України «Про управління відходою» № 2320-IX (2023). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

3. Chobotko I.I., Tynyna S.V. (2018). Metody ta zasoby lokalizatsii oseredkiv samozaimannia porodnykh vidvaliv. *Mizhvidomchyi zbirnyk naukovykh prats «Heterotekhnichna mekhanika»*, 142, 134-140. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.142>

4. Popovych, V.V., Voloshchyshyn, A.I., Tyndyk, O.S., Menshykova, O.V., Shuplat, T.I., & Bosak, P.V. (2022). Monitoring of Heavy Metals Migration into Edaphic Horizons of Coal Mine Dumps. *Ecologia Balkanica*, 14(2), 63-74. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11373>

5. Khorolskyi A.O. (2022). Obgruntuvannia obsiahiv robit iz zakladky vyroblenoho prostoru tverdiiuchymy sumishamy na osnovi vidkhodiv hirnychoho vyrobnytstva. *Natsionalnyi forum «Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii»*, 24 lystopada, 1-5. <http://surl.li/etajf>

6. Chobotko I.I. (2022). Obgruntuvannia sposobiv ta metodiv usunennia samozaimannia vidkhodiv hirnychoho vyrobnytstva. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, 1(50), 166-171. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-166-171>

7. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>

8. Chobotko I.I., Tynyna S.V. (2019). Monitorynh teplovoho stanu porodnykh vidvaliv. *Zhurn. «Hirnychi visnyk» Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, 106, 9-13. <http://iomining.in.ua/wp-content/uploads/GV/GM106.pdf>

9. Chobotko I.I. (2022). Stvorennia klasyfikatsii sposobiv vykorystannia vidkhodiv vuhlevydobutku. *Fizyko-tekhnichni problemy hirnychoho vyrobnytstva*, 24, 128-141. <https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.009>

10. Xiao, W., Ren, H., Zhao, Y., Wang, Q., & Hu, Z. (2023). Monitoring and early warning the spontaneous combustion of coal waste dumps supported by unmanned aerial vehicle remote sensing. *Meitan Kexue Jishu/Coal Science and Technology (Peking)*, 51(2), 412-421. <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-1901>

11. Rudakov, L.M. (2023). Environmental and operational safety of tailing storage facilities: Analysis of accidents, causes and technical state diagnostic methods. *Environmental safety and natural resources*, 46(2), 66–84. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.66-84>

12. Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Yang, X., Ding, B., & Chen, C. (2022). Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass. *Land Degradation & Development*, 33(15), 2728–2742. <https://doi.org/10.1002/ldr.4297>

13. Kodunov, B.O., Davydenko, O.O. (2021). Zastosuvannya bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia teplovoi ziomky vidvaliv. IX Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Tekhnolohii i protsesy v hirnytstvi ta budivnytstvi» (s. 113-118) .DNVZ «DonNTU». <http://surl.li/naxds>

14. Babets D.V., Kravchenko K.V. (2015). Heomekhanichni yavyshcha pry vidpratsiuvanni kintsevykh dilianok lav struhovymu kompleksamy. Monohrafiia - Dnipro: NHU, 108.

15. Shashenko A.N., Sdvizhkova E.A Babets D.V. (2006). Otsenka geomekhanicheskogo sostoyaniya protyazhennykh vyirabotok s uchetom stohasticheskoy izmenchivosti svoystv gornyyh porod. Zbirnyk naukovykh prats DonNTU «Problemy hirskoho tysku», 14, 144-156.

16. Shashenko A.N., Sdvizhkova E.A., Babets D.V. (2007). Chislennoe modelirovanie veroyatnostnogo raspredeleniya svoystv gornyyh porod v zadachah geomekhaniki. Vestnik Hersonskogo natsionalnogo tehniceskogo universiteta, 2(28), 402-407.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Мета дослідження полягає у вдосконаленні системи моніторингу техногенних об'єктів: кар'єрів, породних відвалів та хвостосховищ (шламосховищ) з підвищеною екологічною безпекою.

Методика. При підготовці до проведення досліджень ставилися наступні завдання: проаналізувати проблему і дати оцінку основним видам моніторингу техногенних об'єктів, встановити основні переваги та недоліки застосування способів моніторингу та контролю екологічного стану геомеханічних систем.

Результати. На основі проведених досліджень отримані результати, що вказують на ефективність використання методів моніторингу для визначення стану геомеханічних систем під техногенним впливом. Виявлені фактори, що впливають на їхню стійкість та функціональність.

Наукова новизна. Встановлено, що дослідження внесло важливий вклад у розвиток методів моніторингу геомеханічних систем під впливом техногенних чинників, розкриваючи нові можливості в застосуванні БПЛА.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані для покращення систем безпеки техногенних об'єктів та розробки ефективних стратегій управління геомеханічними системами під техногенним впливом. Це може бути корисним як для промислових підприємств, так і для органів екологічного контролю.

Ключові слова: система моніторингу, техногенні об'єкти, геомеханічні системи, екологічна безпека

ABOUT AUTHORS

Tynyna Serhii, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Mechanics of Elastomeric Structures of Mining Machines, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: haritonroots@gmail.com

Chobotko Ihor, Leading Engineer, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Coal and Rock Physics, 15 Simferopolska Street, Dnipro, Ukraine, 49005, E-mail: efilonov79@gmail.com

Kulak Yevhenii, Postgraduate Student, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: Kulak.eugene@gmail.com

Shevelova Hanna, Junior Researcher, Institute of Technical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, Department of Thermogas Dynamics of Power Plants, 15 Liashko-Popelia Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: hanna.shevelova@gmail.com