І.І. ЧОБОТЬКО, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
С.В. ТИНИНА, канд.техн.наук, ст.наук.співроб.
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

МОНІТОРИНГ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ

Мета. Аналіз теплового стану породних відвалів для нормалізації теплових параметрів та вивчення щільності фракційного складу порід відвалу, впливу навколишнього середовища й способів формування породних відвалів на виникнення осередків займання та процеси формування концентраторів горіння.

Методи дослідження. У роботі використано аналітично-порівняльні дослідження результатів термографічних зйомок породних відвалів шахт Західного Донбасу, що були накоплені на протязі 7 років спостережень з використанням тепловізора.

Наукова новизна. Вперше встановлено особливості формування концентраторів підвищеної температури займання породних відвалів та динаміку розвитку осередків горіння на них.

Встановлено залежність формування концентраторів займання породних відвалів від структури породних відвалів його технологічних схем формування й обслуговування.

Проведено детальний аналіз зв'язку технологічних схем формування породних відвалів на породних, як початковий етап зародження теплових концентраторів майбутніх осередків горіння. Запропоновано заходи щодо попередження виникнення теплових зон концентраторів шляхом проведення моніторингу з використанням термографічної зйомки. Проведено дослідження з оцінки горіння териконів, зміни форм териконів.

Практичне значення. Полягає в розробленні заходів попередження й зниження кількості осередків горіння. Проведена термографічна зйомка породних відвалів дозволяє виявити точне розташування осередків горіння та своєчасне їх виявлення й вжиття заходів щодо попередження самозаймання порід. Дозволяє виявити площу і температуру поверхні, що допомагає при розробці проектів гасіння та рекультивації на відвалах, точному розрахунку валових викидів шкідливих речовин.

Результати. Встановлено закономірність формування концентраторів та розвитку зон осередків горіння породних відвалів. Проведений аналіз термографічних зйомок стану поверхні породних відвалів дозволив побачити наявність та кількість теплових зон концентраторів. Обґрунтовано необхідність формування баз даних породних відвалів, що горять, розташованих на територіях діючих і закритих шахт. Встановлено терміни горіння та згасання породних відвалів з оцінкою ймовірності утворення майбутніх концентраторів горіння.

Ключові слова: аналітично-порівняльні, термографічних зйомок, породні відвали, осередки займання, термографічні зйомки, тепловізор, концентратори горіння.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-9-13

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що породні відвали шахт негативно впливають на навколишнє середовище. Після розвантаження породи на поверхню відвалу, вона скочується по схилам вниз, внаслідок чого відбувається розподілення порід за класом крупності. Основу відвалу утворюють шари породи, складені з кусків крупних фракцій, між якими є значний проміжок, що сприяє безперешкодному доступу повітря всередину відвала. Чим крупніша відвальна маса й більша висота (20-25 м) відвалу, тим більша його пористість й повітропроникність. Та, навпаки, значна щільність при висоті більше (40 м) створює осередок горіння за рахунок інтенсивного притоку повітря з пористої основи відвалу й провокує його рух до вершини на відстані від основи (до 10 м)[1,2].

Аналіз досліджень і публікацій. На основі багаторічних досліджень провідними вченими Донецького національного технічного університету Зборщиком М.П. та Осокіним В.В. було виявлено причини самозаймання й горіння порід відвалів, а також найбільш ефективні способи й технології гасіння. Представлено фізико-математичні моделі й методики розрахунку параметрів гасіння палаючих відвалів, обґрунтовано доцільність використання гідроксидів та карбонатів Na, K, Ca до суміші гасіння. Але вони не приділяли належної уваги до спостереження та моніторингу займання породних відвалів та виникнення осередків горіння на ранній стадії.

Розроблена методика термографічних зйомок дозволяє заздалегідь виявити місця розташування осередків горіння відвалів на стадії їх формування[3-5].

Постановка завдання. Метою роботи є представлення методики тепловізornoї зйомки породних відвалів для виявлення найбільших теплових зон горіння. Це допомагає виявити осередки горіння з температурою понад 100°C та провести заміри викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Викладення матеріалу та результати. Склад палаючої породної маси у відвалу різноманітний, це:

- чисте вугілля;
- зросток вугілля з породою;
- вуглисті сланці й аргіліти;
- лісоматеріали та палаюча сірка, яка представлена піритом [6].

Фізико-хімічний процес горіння відвалів полягає у переході хімічної системи з низькотемпературного стану у стан горіння внаслідок утворення тепла всередині відвалу та впливу його ззовні. Джерелом самозаймання є хімічні реакції окису активних компонентів за допомогою кисню, який поступає у відвал ззовні або утворюється внаслідок розкладання компонентів на основі піриту всередині системи [7].

Формування породних відвалів здійснюється наступним відвальним обладнанням:

- одноковшеві екскаватори;
- конвеєрні відвалоутворювачі (консольні й транспортно-відвальні мости);
- автомобільний транспорт (автоскиди).

Найбільш розповсюджений спосіб формування відвалів – конічний за допомогою автомобільного транспорту. Як видно з рис.1, при скиданні порода має неоднорідну структуру, тобто складається з фракцій різних кусків породи діаметром від 15 до 400 мм. Тяжка фракція (100-400 мм) під дією сили гравітації осаджується першою, таким чином формуючи остов відвалу, середня фракція (50-95мм) насипається другим шаром та легка фракція (15-25 мм) складає третій шар тіла відвалу. Таким чином, за певний проміжок часу відбувається процес усадки породи (ущільнення), що сприяє виникненню теплових зон займання. Основним впливом на початкові стадії горіння відвалів є вітрова ерозія та проникнення вологи всередину міжкускового простору, внаслідок чого утворюються окислювальні-відновлювальні реакції за участю окислів заліза та порід з багатим вмістом піриту[8, 9].

Відсіпка конічного відвалу проводиться з фіксованими місцями розвантаження породи, внаслідок чого структурні зони відвалу розташовуються за принципом вейеру. В цьому випадку відвал перегорає повніше, оскільки порода з невеликим вмістом палаючої породи з нижньої зони, яка зазвичай не перегорає, потрапляє у середню зону з інтенсивним горінням з утворенням осередків горіння[10, 11].

Рис.1. Схема розподілення кусків породи при автомобільному формуванні породного відвалу:
1 - тяжка фракція; 2 - середня фракція; 3 - легка фракція

На рис. 2 зображено графік розподілення фракцій кусків породи в залежності від її розмірів та питомої маси. Враховується висота розвантаження H (м) фракцій, що впливає на відстань переміщення розсипу кусків L (м). Зі збільшенням висоти розвантаження породи пропорційно зростає кут відкосу відвалу, що провокує переміщення легкої (дрібної) фракції порід на значну відстань[12].

Рис. 3 відображає візуальне бачення фракційного складу порід, які містяться у породному відвалі. Якщо провести порівняльний аналіз з графіком розподілення фракцій породи на рис.2, то побачимо, що фракції розподіляються на:

- тяжку (крупна фракція породи);
- середню (середня фракція породи);
- легку (дрібна фракція породи).

Таким чином, при рясних дощових опадах на поверхні відвалу утворюються значні вимоїни глибиною від 700 мм до 5500 мм, що провокує утворення значного зсуву дрібної фракції порід масою від 500 кг/га до 1,5 т/га й більше. Це призводить до забруднення хімічними елементами ґрунтових вод[13].

Рис.2. Графік розподілення фракцій відвальної породи в залежності від висоти та довжини відвалу:
1 - тяжка фракція; 2 - середня фракція; 3 - легка фракція

Рис. 3. Візуальне зображення фракційного складу порід у породному відвалі

На рис. 4 зображено техногенний ландшафт породного відвалу, через який проходить автомобільна дорога, по якій проходить інтенсивний рух транспорту (автосамоскидів). З рисунку видно наявність дрібнодисперсної фракції породи (дорога), в якій під час ущільнення виникають концентратори теплових зон горіння.

Термографічна зйомка (рис. 5) показує температурну різницю теплових зон концентраторів горіння (мінімальна 13,3°C, максимальна 40,6°C), що свідчить про інтенсивні процеси горіння, які відбуваються у концентраторі.

Розрахунок витоку повітря через осередок горіння здійснюється за формулою

$$v_0 = \frac{2v_L}{1 + \sqrt{1 + \frac{4v_L}{b}}}, \quad (1)$$

де b – загальний коефіцієнт турбулентності фільтраційного потоку; v_L – швидкість ламінарних потоків через осередок горіння, м/с.

Кількість палаючих матеріалів в осередку горіння

Крупна фракція породи

Середня фракція породи

Дрібна фракція породи

$$n = \frac{v_0(v_0 + \alpha)}{\beta \left[\frac{E v_0}{T_1 - T_0} - (v_0 + \alpha) \right]}, \quad (2)$$

де v_0 – виток повітря через осередок горіння; α – наведена константа швидкості тепловіддачі порід у навколишнє середовище; β – наведений коефіцієнт сорбції кисню породної маси, приймається 0,5 м/с; T_1 та T_0 – температура повітря навколишнього середовища й осередка горіння.

Рис. 4. Техногенний ландшафт породного відвалу (автомобільна дорога)

Рис. 5. Термограма концентраторів горіння породного відвалу (автомобільна дорога)

Наведена константа швидкості тепловіддачі порід у навколишнє середовище

$$a = \frac{\alpha_0}{\rho_0 c_p \varepsilon}, \quad (3)$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі порід у навколишнє середовище, приймається рівним 50 Вт / (м²·К); ρ_0 – щільність атмосферного повітря, приймається рівним 1,2 кг/м³; c_p – питома теплоємність повітря, приймається рівним 1040 Дж / (кг·К); ε – середній коефіцієнт порожньої відвальної породи, приймається рівним 0,5-0,45 [14, 15].

Висновки та напрямки подальших досліджень. Встановлено, що при формуванні породного відвалу автомобільним транспортом порода, яка перевозиться у кузові, зазнає значне ущіль-

нення від вібрацій кузова при перевезенні та за рахунок дрібнодисперсної фракції, що вже спричиняє початковий етап горіння. Приведені рисунки візуального фракційного складу порід, ландшафту й термографічної зйомки автомобільної дороги, яка проходить поруч з відвалом, свідчать про наявність дрібнодисперсних фракцій, що становить основну горіння. Моніторинг теплового стану дозволяє встановити причину горіння, оскільки основу дороги складає дрібнодисперсна фракція породи, яка зазнає значного ущільнення під час інтенсивного руху та маси автоскидів. Наведені формули допомагають розрахувати кількість палаючих матеріалів в осередку горіння здійснити розрахунок витоку повітря через осередок горіння у навколишнє середовище.

Напрямом подальших досліджень є вивчення складових хімічних елементів порід відвалів з метою виявлення причин самозаймання та утворення теплових зон концентраторів.

Список літератури

1. **Чоботько І.І.** Технологічна схема пристрою зрошування вапнякової суспензії консольного відвалоутворбача ВКР 8000/100 / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина, В.П. Франчук** // Жур. ВІСТІ Донецького гірничого інституту. - № 1 (44). - Донецький національний технічний університет. Покровськ 2019. - С. 138-144.
2. **Чоботько І.І.** Методи та засоби локалізації осередків самозаймання породних відвалів / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина** // Міжвідомчий збірник наукових праць «Геотехнічна механіка». - Вип. 142. Дніпро 2018. - С. 134-139.
3. **Чоботько І.І.** Проблеми експлуатації та методи запобігання загоранню породних відвалів / **І.І. Чоботько, С.В. Тинина** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. - 2017 р. Т. 44. - С. 146-151.
4. **Зубов А.Р.** Экспертная система оценки породных отвалов угольных шахт как структурных элементов экологических сетей / **А.Р. Зубов, А.А. Зубов** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 2 – Киев. – С. 31-37.
5. **Зубова Л.Г.** Оценка радиоактивности породных отвалов угольных шахт ПАО «Лисичанскуголь» / **Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 4-5 – Киев. – С. 59-65.
6. **Верех-Білоусова К.Й.** Оцінка впливу породного відвалу вугільної шахти на ґрунти прилеглих територій / **К.Й. Верех-Білоусова** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 4-5 – Киев. – С. 66-67.
7. **Зубова Л.Г.** Порода отвалов угледобычи как сырье для металлургии / **Л.Г. Зубова** // Жур. Уголь Украины – 2016 - № 11-12 – Киев. – С. 45-53.
8. **Зборщик М.П.** Природа самовозгорания и тушения отвальных пород угольных месторождения / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин** // Жур. Уголь Украины – 2015 - № 3-4 – Киев. – С. 76-78.
9. **Греков С.П.** Расчет выделения вредных веществ из породных отвалов / **С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Е.А. Головченко** // Жур. Уголь Украины – 2010 - № 2 – Киев. – С. 20-21.
10. **Мнухин А.Г.** Породные отвалы – сырье будущего / **А.Г. Мнухин** // Жур. Уголь Украины – 2009 - № 5. – Киев. – С. 28-32.
11. **Пашковский П.С.** Контроль теплового состояния породных отвалов / **П.С. Пашковский, Э.А. Попов, М.А. Яремчук** // Жур. Уголь Украины – 2000 - № 7 – Киев. – С. 27-29.
12. **Зборщик М.П.** Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин** // Донецкий государственный технический университет – Донецк. – 1996. – 178 с.
13. **Зборщик М.П.** Использование новых способов тушения породных отвалов – неотложная задача / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин, А.М. Рудь, В.М. Варакин** // Жур. Уголь Украины – 1985 - №11 – Киев. – С. 30-32.
14. **Зборщик М.П.** Самонагревание горных пород и его предотвращение / **М.П. Зборщик, В.В. Осокин, Ю.И. Николенько, А.М. Рудь** // Жур. Уголь Украины – 1981 - №2 – Киев. – С. 30-32.
15. **Саранчук В.И.** Борьба с горением породных отвалов / **В.И. Саранчук** // Киев: Наук. думка, 1978. – 168 с.

Рукопис подано до редакції 28.10.2019

УДК 622.261.2

О.Є. ГРИГОР'ЄВ, Н.В. ХОЗЯЙКІНА, кандидати техн.наук, доценти,
О.І. ДУБОВИК, інж., Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ВПЛИВ СТАНУ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НА ОБСЯГИ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Мета. На цей час, не зважаючи на тенденції, що пов'язані з декарбонізацією енергетики, вугілля в Україні ще тривалий час буде забезпечувати сировиною теплові електростанції. Така тенденція, за оцінкою експертів, збережеться до 2050 року. Основним недоліком українського вугілля є його висока собівартість. Це пов'язано, перш за все, важкими гірничо-геологічними умовами, глибиною розробки, розгалуженою системою підземних виробок, які потребують їх постійного ремонту для підтримки у нагляді, що відповідає вимогам правил експлуатації. Мета даної роботи полягає в обґрунтуванні таких параметрів кріплення, що дозволили би повторне використання конвеєрних виробок вугільної шахти.