

**Выводы**

1. Изучена кинетика ликвидации сульфидов из водоемов, загрязненных вследствие контакта с шлаками металлургического производства.

2. Показана эффективность использования в качестве сорбентов слоис-

тых двойных гидроксидов - MgAl-СДГ.

3. Расчетным путем обоснован оптимальный состав Mg-Al-СДГ - 0,72 моль/моль.

**Литература:**

1. Снижение экологической нагрузки при обращении со шлаками черной металлургии: монография / К.Г. Пугин, Я.И. Вайсман, Б.С. Юшков, Н.Г. Максимович. - Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 2008. - 316 с.
2. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII групп: Справочное издание. / А.Л. Бандман, Н.В. Волкова, Т.Д. Грехова и др. - Л. : Химия, 1989. - 592 с.
3. Crini G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment / G. Crini // Prog. Polym Sci. - 2005. - №30. - P. 38-70.
4. Mohamed Nageeb Rashed. Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment / Mohamed Nageeb Rashed. - Croatia : InTech. - 2013. - 238 p.
5. Яковлев С.В. Современные решения по очистке природных и сточных вод / С.В. Яковлев, О.В. Демидов // Экология и промышленность России. - 1999. - № 12. - С. 12-15.
6. Бутенко Э.О. Технология удаления сульфидов / Э.О. Бутенко, А.Е. Капустин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - №3/8 (45). - С. 7-9.
7. Vujdosó T. Structural characterization of arsenate ion exchanged MgAl-layered double hydroxide/ Vujdosó T., Patzkó Á., Galbács Z., Dékány I. // Appl. Clay Sci. - 2009. - V. 44. -P. 75-82.
8. Nakayama H. Intercalation of amino acids and peptides into Mg-Al layered double hydroxide by reconstruction method / Nakayama H., Wada N., Tshako M. // Int. J. of Pharm. - 2004. - V. 269. - P. 469-478.
9. Степанова Л.Н. Влияние соотношения Mg/Al в составе слоистых двойных гидроксидов на сорбцию хлоридных комплексов Pt (IV) / Л.Н. Степанова, О.Б. Бельская, Н.Н. Леонтьева, В.А. Лихолобова // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. - 2012. - №5. - С. 361-375.
10. Duan X. Layered double hydroxides / Duan X., Evans D.G // Structure and Bonding. - 2005. - V. 119. - 242 p.
11. Savani F. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties and applications / Savani F., Trifiro F., Vaccaro A. // Catal. Today. - 1991. - V. 11. - P. 173-301.
12. Бутенко Э.О. Исследования процессов десорбции прокалённых синтетических анионных глин / Э.О. Бутенко, А.Е. Капустин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2013. - №2/6 ( 62 ). - с. 59-61.

УДК 504.064.37:613.6.

## ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ ДЖЕРЕЛ ГОРІННЯ ТА САМОНАГРІВАННЯ НА ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Козир Д.О.<sup>1</sup>, Костенко В.К.<sup>1</sup>, Майборода А.М.<sup>2</sup>, Костенко Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донецький національний технічний університет  
пл. Шибанкова, 2, Красноармійськ  
mail@donntu.edu.ua;

<sup>2</sup>Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля  
вул. Онопрієнка, 8, 18000, Черкаси  
chipb@mns.gov.ua

Досліджено вплив зовнішніх факторів (відстань зйомки, швидкість вітру та ін.) на результати температурного контролю теплового стану породного відвалу при застосуванні дистанційних засобів і способів. Проведені експериментальні дослідження, що співпадають з результатами лабораторних досліджень. Підтверджено, що необхідно врахувати вплив турбулентності повітря в приземному шарі атмосфери та пропускання інфрачервоного випромінювання. Теоретично обґрунтовані залежності впливу зовнішніх факторів на показники тепловізійної зйомки, які дозволяють розробити методику оцінки теплового стану породних відвалів за допомогою дистанційних засобів контролю. *Ключові слова:* породний відвал, вогнища самонагрівання і самозаймання, тепловізор, дистанційне вимірювання температури, викиди парникових газів.

**Обоснование методики дистанционного измерения температуры поверхности очагов горения и самонагрева на породных отвалах угольных шахт.** Козыр Д.А., Костенко В.К., Майборода А.Н., Костенко Т.В. Исследовано влияние внешних факторов (расстояние съемки, скорость ветра и др.) на результаты температурного контроля теплового состояния породного отвала при применении дистанционных средств и способов. Проведенные экспериментальные исследования, совпадают с результатами лабораторных исследований. Подтверждено, что необходимо учесть влияние турбулентности воздуха в приземном слое атмосферы и пропускания инфракрасного излучения. Теоретически обоснованы зависимости влияния внешних факторов на показатели тепловизионной съемки, которые позволяют разработать методику оценки теплового состояния породных отвалов с помощью дистанционных средств контроля. *Ключевые слова:* породный отвал, очаги самонагрева и самовозгорания, тепловизор, дистанционное измерение температуры, выбросы парниковых газов. *Ключевые слова:* породный отвал, очаги самонагрева и самовозгорания, тепловизор, дистанционное измерение температуры, выбросы парниковых газов.

**Justification remote sensing techniques in surface temperature and self-heating sources burning waste heaps of coal mines.** Kozyr D., Kostenko V., Majboroda A., Kostenko T. The influence of external factors (shooting distance, wind speed, etc.). The results of the temperature control of the thermal state of the waste dump in the application of distance learning tools and methods. Experimental studies coincide with the results of laboratory tests. Confirmed the need to consider the impact of air turbulence in the surface layer of the atmosphere and transmission of

infrared radiation. Theoretically grounded external factors depending on performance thermal imaging surveys that allow to develop a methodology for evaluating the thermal state of dumps by remote controls. Keywords: dump, pockets of self-heating and spontaneous combustion, thermal, remote temperature measurement of greenhouse gas emissions. *Keywords:* dump, hearth self-heating and spontaneous combustion, thermal imager, remote temperature measurement of greenhouse gas emissions.

У Донецькій області за рік утворюється 3038 млн т відходів. При цьому основна частка в загальному обсязі відходів припадає на відходи вугільної промисловості. На сьогодні в Україні налічується понад 1330 породних відвалів. Тільки в Донецькій області налічується більше 600 породних відвалів, з них близько 140 палаючих. Палаючі породні відвали є основним джерелом забруднення атмосфери [1].

Палаючі породні відвали щорічно виділяють в атмосферу близько 300 тис. тонн забруднюючих речовин. Найбільш схильні до самозаймання - конусні відвали, в яких знаходиться близько 80% загального об'єму породи.

У цілому процес самоокислення залежить від ряду гірничо-геологічних і гірничотехнічних чинників. Самозаймання сприяє також газотворенню, яке супроводжує процеси газифікації і окислення горючих матеріалів, реакцію між газоподібними компонентами, розжареним вугіллям і породами [2]. Фронт горіння на породному відвалі може поширюватися зі швидкістю до 1 метра за добу і більше.

Для виявлення осередків самонагрівання і своєчасного вжиття заходів щодо попередження самозаймання порід повинен проводитися моніторинг теплового стану відвалів (регулярна температурна зйомка). Результати вимірів температури використовують для визначення обсягу палаючої маси, необхідного для розробки проєктів гасіння і встановлення обсягів викидів шкідливих речовин.

Нормативним документом, яким регламентовано процес контролю теплового стану породних відвалів, є «Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів» [3].

Вимоги до засобів для виконання температурної зйомки в цьому документі не обумовлені. В даний час температура на зйомка найчастіше проводиться за допомогою контактних термометрів і забитих у відвальну масу на глибини від 0,5 до 2,5 м термопар. Процес зйомки трудомісткий, тривалий, небезпечний та дорогий.

Існуюча методика проведення температурної зйомки породних відвалів має наступні суттєві недоліки: за регламентованими схемами розташування точок замірів на породних відвалах різної форми неможливо точно визначити кількість, форму і площу вогнищ тепловиділення; частина вогнищ тепловиділення розмірами менше 10 м, особливо без явних ознак горіння, концентрується між точками виміру температур і не фіксується; в осередках горіння через їх недоступність неможливо провести виміри температури контактним способом. Найбільш суттєвим недоліком контактного способу вимірювання температури є неможливість його реалізації внаслідок небезпечності і відсутності доступу до джерел горіння та самонагрівання.

Більш перспективними методами контролю температури є дистанційні способи. Комп'ютерна термографія дозволяє створити безпечні умови температу-

рної зйомки поверхні породних відвалів, підвищити точність і достовірність отриманих результатів, забезпечити необхідну періодичність контролю та знизити витрати на виконання цих робіт.

Для широкого застосування дистанційних засобів і способів температурного контролю на сьогодні відсутні законодавчо затверджені методики, які дозволяють враховувати умови зйомки та вплив зовнішніх факторів на результати тепловізійної зйомки.

До основних зовнішніх факторів відноситься поглинання газів, які складають атмосферу, ослаблення випромінювання через розсіювання на частинках, присутніх в атмосфері, та турбулентність.

Наявність атмосфери між джерелом випромінювання і приймачем зазвичай є причиною перешкод при дистанційних методах аналізу. Енергія інфрачервоного випромінювання послаблюється при проходженні крізь атмосферу [4].

Явища послаблення ускладнюють проведення вимірювань і вносять систематичну помилку, яка залежить від довжини хвилі поширюваного випромінювання, використовуваного спектрального діапазону, дистанції спостереження і метеорологічних умов. Крім того, контрасти в полях температур та швидкості вітру викликають турбулізацію атмосфери, яка значно впливає на результати тепловізійної зйомки [5].

*Метою роботи* є експериментальне вивчення впливу зовнішніх факторів: відстань зйомки, форма джерела нагрівання, швидкість вітру та ін. на результати температурного контролю теплового стану породного відвалу при застосуванні дистанційних засобів і способів, що дозволить виділити найбільш значущі з них і розробити методику оцінки

теплового стану породних відвалів за допомогою дистанційних засобів контролю.

*Методи.* Для дослідження температурного стану об'єкту та виявлення залежностей між зовнішніми факторами (турбулентність повітря та пропускання інфрачервоного випромінювання атмосферою), дистанцією температурної зйомки та показниками температурної зйомки при дистанційному способі контролю температури були проведені натурні дослідження.

Експериментальні дослідження теплового стану породних відвалів були проведені за допомогою тепловізора *Fluke Ti-125* на породному відвалі шахти ім. М.І.Калініна (м. Донецьк).

При підготовці до тепловізійної зйомки породного відвалу визначалися коефіцієнти випромінювання і відбиття інфрачервоного випромінювання. Для оцінки впливу зовнішніх факторів на результати температурного контролю (турбулентність повітря, пропускання інфрачервоного випромінювання атмосферою) вимірювалась відносна вологість повітря, температура навколишнього повітря і вимірювалась швидкість вітру. Також враховувався ракурс тепловізійної зйомки [6].

Тепловізійну зйомку породного відвалу проводили з хвостової, лобової і торцевих сторін. У разі великих розмірів породного відвалу або наявності сторонніх об'єктів, що заважають зйомці, відвал знімався по частинах. Додатково на породному відвалі оглядалися горизонтальні майданчики, які не потрапили в об'єктив тепловізора (рис.1). При аналізі отриманих даних теплової зйомки виявлялися ділянки з аномальною температурою.

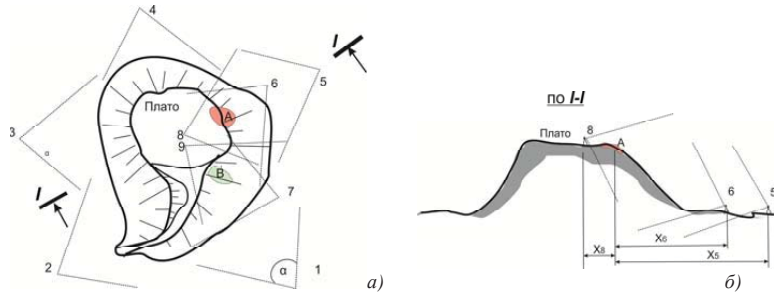


Рис.1. План (а) та переріз (б) зйомки поверхні породного відвалу: 1-8 – точки зйомки та кут (а) обзору тепловізора; А, В – джерела горіння і самонагрівання на поверхні відвальної маси; X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>8</sub> - відстань від джерела горіння до точки зйомки

**Результати.** При експериментальних дослідженнях теплового стану породного відвалу шахти ім. М.І.Калініна виявлено осередки самонагрівання, що знаходились на північно-східній стороні породного відвалу (рис. 2). Температурна зйомка осередку самонагрівання з температурою 66,9<sup>0</sup>С проводилась із збільшенням дистанції зйомки від 1 до 21 м з кроком 3 м, а осередку самонагрівання з температурою 41,3<sup>0</sup>С - із збільшенням

дистанції зйомки від 3 до 18 м з кроком 3 м. На рисунку 2 представлені ізотерми розподілу температури осередків самонагрівання від 3 до 66,9<sup>0</sup>С.

Швидкість повітря при тепловізійній зйомці осередку самонагрівання з температурою 66,9<sup>0</sup>С становила 8,6 м/с при зйомці осередку самонагрівання з температурою 41,3<sup>0</sup>С – 8,9 м/с. Відносна вологість повітря в обох випадках складала 80%, температура - +3<sup>0</sup>С.

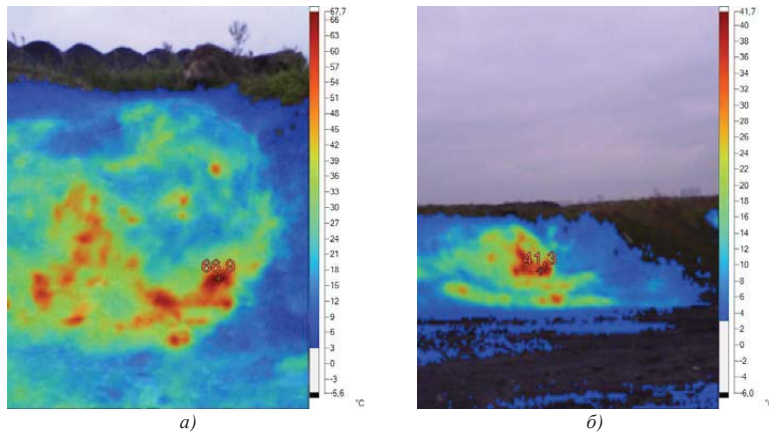


Рис. 2. Тепловізійна зйомка осередків самонагрівання з температурою 66,9<sup>0</sup>С (а) та 41,3<sup>0</sup>С (б) на північно-східній частини породного відвалу шахти ім. М.І. Калініна

Результати тепловізійної зйомки осередків самонагрівання на різній дистанції наведені на рисунку 3.

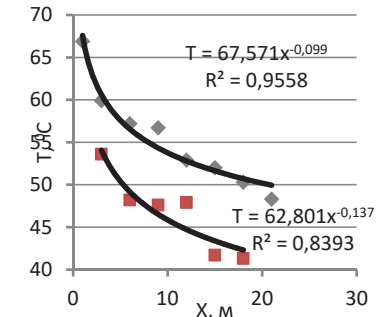


Рис. 3. Показники (Т,<sup>0</sup>С) тепловізора при вимірюванні температури на дистанції (х,м) від джерела самонагрівання: , - результати тепловізійної зйомки осередків самонагрівання з максимальною температурою поверхні, відповідно, 66,9 та 41,3, <sup>0</sup>С

Залежність температури від дистанції тепловізійної зйомки осередків самонагрівання (см. рис.3) описується рівняннями  $T = 67,571x^{-0,099}$  і  $T = 62,801x^{-0,137}$  з величинами достовірності апроксимації  $R^2 = 0,8393$  та  $R^2 = 0,9558$ , тобто, розподіл температури по дистанції проходить за степеневим законом.

Основним зовнішнім фактором впливу на результати температурного контролю теплового стану породного відвалу при застосуванні дистанційних засобів контролю є турбулентність повітря. Крім того, зменшення температури зумовлене послабленням інфрачервоного випромінювання атмосферою, яке переважно залежить від явищ поглинання газами, що складають атмосферу та явищ ослаблення через розсіювання на частинках, при-

сутніх в атмосфері, молекулах або аерозолях.

При аналізі експериментальних даних та залежностей, що впливають на показники температурної зйомки, була використана одержана теоретично математична модель, яка дозволяє враховувати вплив зовнішніх факторів на параметри температурної зйомки при використанні дистанційних методів аналізу температурного стану [7].

Вплив зовнішніх факторів на параметри температурної зйомки при використанні дистанційних методів аналізу температурного стану можна описати рівнянням:

$$T(x) = \frac{T(x+r) + \sqrt{2T(x+r)^2 - 4(T(x+r)^2 - C_i r^3)}}{F}$$

де:  $C_i$  - структурна постійна пульсації температури атмосфери;  
 $r$  - дистанція зйомки, м;  
 $T(x)$  - істинна температура об'єкта, <sup>0</sup>С;

$T(x+r)$  - температура, одержана в результаті тепловізійної зйомки, <sup>0</sup>С.

$F$  - повний коефіцієнт пропускання атмосфери;

$$F = F_p * F_{H2O} * F_{CO2}$$

де  $F_p$  - розсіювання на частинках;  
 $F_{H2O}$  - поглинання інфрачервоного випромінювання водяною парою;  
 $F_{CO2}$  - поглинання інфрачервоного випромінювання діоксидом вуглецю.

При аналізі результатів тепловізійної зйомки введено величину  $\Delta T$ , яка характеризує вплив зовнішніх факторів на величину інфрачервоного випромінювання:

$$\Delta T = T(x)/T(x+n)$$

де  $T(x)$  - істинна температура об'єкта, <sup>0</sup>С;

$T(x+n)$  – температура, одержана в результаті тепловізійної зйомки,  $^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунок впливу зовнішніх факторів на результати тепловізійної зйомки осередків самонагрівання з температурами 66,9 та 41,3  $^{\circ}\text{C}$  при експериментальних дослідженнях був порівняний з впливом зовнішніх факторів при лабораторних дослідженнях (рис.4).

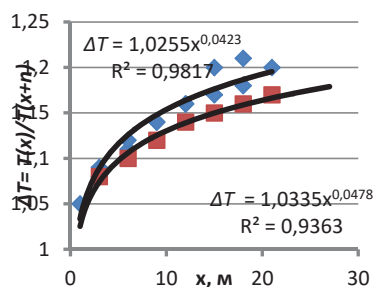


Рис. 4. Вплив зовнішніх факторів ( $\Delta T$ ) залежно від дистанції ( $x$ ) зйомки:  $\bullet$ ,  $\square$  - за результатами тепловізійної зйомки в натурних і лабораторних умовах, відповідно

Лабораторні дослідження проводились в приміщенні за методикою досліджень. Тепловізійна зйомка об'єкта тепловиділення проводилась із збільшенням дистанції зйомки від 3 до 21 м з кроком 3 м, швидкості повітря 1,4 м/с та відносній вологості 62%.

На основі проведених експериментальних досліджень та розрахунку впливу зовнішніх факторів на інфрачервоне випромінювання можна зробити висновок, що величина впливу зовнішніх факторів при збільшенні дистанції тепловізійної зйомки збільшується за степеневим законом  $\Delta T = 1,0255x^{0,0423}$  з величиною достовірності апроксимації:  $R^2 = 0,9817$ .

Величина впливу зовнішніх факторів, одержана з лабораторних досліджень, із збільшенням дистанції зйомки збільшується за степеневим законом  $\Delta T = 1,0335x^{0,0478}$  з величиною достовірності апроксимації  $R^2 = 0,9363$ .

Розбіжність між лабораторними і натурними дослідженнями на перевищувала 2%, що дає можливість стверджувати про достатню збіжність достовірності закономірностей, які можуть бути покладені в основу методики виміру температури джерел самонагрівання та горіння.

**Висновки.** При аналізі даних експериментальних досліджень встановлено:

1. Проведені експериментальні дослідження якісно і з достатньою точністю кількісно співпадають з результатами лабораторних досліджень. При збільшенні дистанції тепловізійної зйомки значення величини впливу зовнішніх факторів збільшується за степеневим законом, а температура, яку реєструє тепловізор, зменшується.

2. Аналіз експериментальних даних підтверджує достовірність закладених в основу методики показників, що розробляють теоретичні передумови про вплив зовнішніх факторів на параметри тепловізійної зйомки. Підтверджено необхідність врахування впливу турбулентності повітря в приземному шарі атмосфери та пропуску інфрачервоного випромінювання

3. Теоретично обгрунтовані та експериментально підтвержені залежності величини впливу зовнішніх факторів від дистанції тепловізійної зйомки на показники зйомки, що дозволяє розробити методику оцінки теплового стану породних відвалів за допомогою дистанційних засобів контролю. Роз-

робка цієї методики дозволить ефективно виявляти і ліквідувати на початковій стадії самозаймання відвальної маси, зменшувати або повністю припиняти шкідливий вплив породного відвалу на навколишнє середовище шляхом гасіння вогнищ горіння (проекти їх гасіння розробляються за результатами температурної зйомки) з подальшим виконанням комплексу заходів щодо запобігання самозайман-

ня і поетапного озеленення поверхні породного відвалу.

4. Експериментально підтвержені такі що теоретично обгрунтовані залежності впливу зовнішніх факторів на показники тепловізійної зйомки дозволяють розробити методику оцінки теплового стану породних відвалів за допомогою дистанційних засобів контролю.

## Література

1. С. В. Третьяков, Г. В. Аверин. Земля тревоги нашей. По материалам Доклада о состоянии окружающей природной среды в Донецкой области в 2009 году/ С. В. Третьяков, Г. В. Аверин - Донецк, 2010 - 114 с.
2. Зборщик М. П., Осокин В. В. Горение пород угольных месторождений и их тушение/ М. П. Зборщик, В. В. Осокин - Донецк: ДонГТУ, 2000. — 180 с.
3. НПАОП 10.0-5.21-04 Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів. Затверджена Держнаглядом України, наказ № 236 від 26.10.2004 р.
4. Ж. Госсорг. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение/ Ж. Госсорг. Пер. с французского Н.В. Васильченко – Москва: Мир, 1988. – 416 с., – ISBN 5-03-000915-9.
5. В.И. Татарский. Распространение волн в турбулентной атмосфере/ Татарский В.И. – Москва: «Наука», 1967 – 588 с.
6. Козырь Д.А. Оценка влияния ракурса съёмки на результаты тепловизионной съёмки очагов горения на породных отвалах. Труды Второго международного научно-практического семинара «Повховские научные чтения»/ Под общ.ред. Ступина А.Б.-Донецк: ДонГУ, 2012.- 335 с.
7. Козир Д.О. Аналіз впливу зовнішніх факторів на результати температурного контролю теплового стану породних відвалів / Проблеми екології. - Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2013. - № 2 (32). – С.69 – 75.