

чисельний вклад кожного каналу у загальну ефективність роботи відцентрового фільтра.

### Література

1. Зверев Н. И., Ушаков С. Г. Физическое и математическое моделирование процесса центробежной сепарации пыли. Инженерно-физический журнал. 1980. Т. 53, № 3. С. 20–23.
2. Hideto Yoshida, Kunihiro Fukui, Kenji Yoshida, Eiji Shinoda. Particle separation by Iino's type gas cyclone. Powder Technology. 2001. Pp. 16–23.
3. Алиев Г. М. Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов. Москва: Металлургия, 1986.
4. Коузов П. А., Мальгин А. Д., Скрыбин Г. М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. Москва: Химия, 1982.
5. Вальдберг, А.Ю. Основы расчета эффективности газоочистных аппаратов инерционного типа / А.Ю. Вальдберг, С.Г. Сафонов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2006. – № 9. – С. 43-44.
6. Голованчиков, А.Б. Вероятность улавливания частиц в циклоне и батареях циклонов / А.Б. Голованчиков, Е.В. Сафонов, О.В. Карпова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2000. – Т. 43. – вып. 6. – С. 77-80.
7. Шиляев, М. И. К фракционному методу расчета инерционных пылеуловителей / М. И. Шиляев, А. М. Шиляев, И. В. Горمولысова, И. Б. Оленев // Известия вузов. Строительство. - 2006. - № 1. С. 62-67.
8. Шиляев, М. И. Методы расчета пылеуловителей: учебное пособие / М. И. Шиляев, А. М. Шиляев, Е. П. Грищенко; под ред. проф. М. И. Шиляева. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. — 385 с.

УДК 504:519.876.5

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВІД ПАЛАЮЧИХ І ТЛЮЧИХ ТЕРИКОНІВ ВУГЛЕДОБУВАННЯ

Котовенко О.А., Мірошніченко О.Ю., Марченко І.В.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ГОРЯЩИХ И ТЛЕЮЩИХ ТЕРРИКОНОВ УГЛЕДОБЫЧИ

Котовенко Е.А., Мирошныченко Е.Ю., Марченко И.В.

### THE SIMULATION OF BURNING AND SMOULDERING WASTE HEAPS OF COAL MINING ATMOSPHERE POLLUTION PROCESS

Kotovenko O., Miroshnychenko O., Marchenko I.

Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Київ, Україна, [kafopnsknuba@ukr.net](mailto:kafopnsknuba@ukr.net)

**Анотація:** Для дослідження процесів міграції та накопичення забруднюючих речовин від палаючих і тліючих териконів вугледобування в атмосфері запропонована узагальнена математична модель, яка базується на рівняннях Сеттона, Берлянда та рівняннях пилоутворення. Модельований об'єкт розглядається як складний об'єкт, що поєднує  $n$  джерел викидів, які знаходяться на різних висотах та на кожній висоті відповідають напрямкам вітру.

**Ключові слова:** моделювання, палаючі і тліючі вугільні терикони, забруднення атмосфери

**Аннотация:** Для исследования процессов миграции и накопления загрязняющих веществ от горящих и тлеющих терриконов угледобычи в атмосфере предложена обобщенная математическая модель, базирующаяся на уравнениях Сеттона и Берлянда и мультимодели пылеобразования. Моделируемый объект рассматривается как сложный объект, сочетающий  $n$  источников выбросов, находящихся на разных высотах, причем их количество зависит от направления ветра.

**Ключевые слова:** моделирование, горящие и тлеющие угольные терриконы, загрязнение атмосферы

**Abstract:** To study the migration and accumulation processes of pollutants from burning and smoldering waste heaps of coal in the atmosphere, generalized mathematic model, based on the Setton and Berland equations of and multi model generation of dust was proposed. The simulated object is considered as a complex object that combines  $n$  emission sources that are located at different heights, and their number depends on the wind direction

**Keywords:** simulation, burning and smoldering coal heaps, air pollution

### Вступ

Проблема відходів вугільної промисловості в Україні, як і в усьому світі, є однією з найболючіших. Особливе місце в ній займають терикони.

Терикон (terri – відвал породи, Conique – конічний) – це відвал, штучний насип з пустих порід, вилучених при підземній розробці вугільних покладів і інших корисних копалин. Терикони вугільних шахт шкідливо впливають на навколишнє середовище і є об'єктами підвищеної техногенної небезпеки. Вони негативно впливають на атмосферу, ґрунти, поверхневі і підземні води.

Особливо небезпечними є палаючі і тліючі терикони. В глибині териконів, що горять, температура може досягати 1000°C і більше. Процес горіння триває більше 20 років.

На території України існує 1185 відвалів вугільних шахт, які розташовані в трьох регіонах: Донецькому і Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах і Дніпровському буровугільному басейні.

До складу порід териконів входить велика кількість цінних хімічних елементів (і важких металів), таких як: Hg (0,13мг/кг), Pb (15мг/кг), Cu (50мг/кг), As (7 мг/кг), V (90 мг/кг), Mn (375 мг/кг), Ga (30 мг/кг), Ni (35 мг/кг), Cr (137,5 мг/кг), Co (8 мг/кг), Ba (400 мг/кг), Be (2 мг/кг), Au (0,0000225 мг/кг), Zn (92,5 мг/кг), Sn (6,3 мг/кг), Li (62,5 мг/кг), P (700 мг/кг), Ti (700 мг/кг), W (3 мг/кг), Ge (5 мг/кг), Nb (3 мг/кг), Mo(3 мг/кг), Y (10 мг/кг), Zr (50 мг/кг), F (500 мг/кг), Sc (2 мг/кг), La (10 мг/кг), а також радіоактивні елементи: U, Ra, Th.[4].

Природна радіоактивність порід у відвалах пов'язана з радіоізотопами (радіонуклідами) важких елементів, які утворюють три радіоактивні сімейства – урану, актинія і торію. Встановлено, що вугілля і вуглевмісні породи містять високі концентрації урану [1].

**Постановка задачі**

Основними задачами модельного дослідження процесів забруднення атмосфери від палаючих і тліючих териконів є створення математичної моделі складного багатофакторного процесу міграції та накопичення забруднюючих речовин в атмосфері в районі розташування палаючих і тліючих териконів вугледобування.

**Аналіз досліджень**

У зонах впливу відвалів з осередками горіння та окиснення встановлюється ареал забруднення атмосферного повітря, що проявляється зростанням концентрації пилу, двоокису сірки, двоокису азоту, оксиду вуглецю і сірководню.

Крім того терикони є потужними джерелами пилового забруднення навколишнього середовища навколо району розташування терикону (табл.1)

Таблиця 1

Питоме здування пилу з поверхні відвалів пустих порід

|  | Швидкість вітру, м/с | Питомі характеристики<br>мг/(м <sup>3</sup> с) |
|--|----------------------|--|
| Свіжонасипаний відвал                    | до 1,5               | 1  |
|  | 7 – 8,5              | 9  |
| Відвал через 3 місяці після<br>утворення | до 1,5               | 0,6  |
|  | 7 – 8,5              | 7  |

Максимальне забруднення встановлюється на відстані до 300 - 800 м. Динаміка забруднення визначається кліматичними умовами. Небезпека породних відвалів визначається тим, що навіть при фонових концентраціях токсичних компонентів у породній масі, вони переводяться у рухомий стан, мігрують повітряним шляхом, є причиною утворення кислотних туманів та дощів, мігрують в навколишнє середовище прилеглих територій.[2].

При цьому токсичні елементи можуть створювати ареали забруднення у ґрунтах, водоносних горизонтах, концентруватися на геохімічних бар'єрах, у донних відкладеннях.

Як інструмент дослідження складних багатофакторних процесів міграційного накопичення токсикантів з териконів в атмосфері авторами пропонується математична модель, що складається з мультимоделей, які описують крізь окремі прояви загального процесу сутність всього процесу в цілому.

Терикон розглядається узагальнено як конус висотою  $H$ . Поділяємо умовно його за висотою на  $n$  ярусів з відповідними висотами (рис.1). На висоті кожного рівня  $n_i$  вибираємо 8 точок за переважними напрямками вітру (Пн, Пн-С, С, Пд-С, Пд, Пд-З, З, Пн-З).

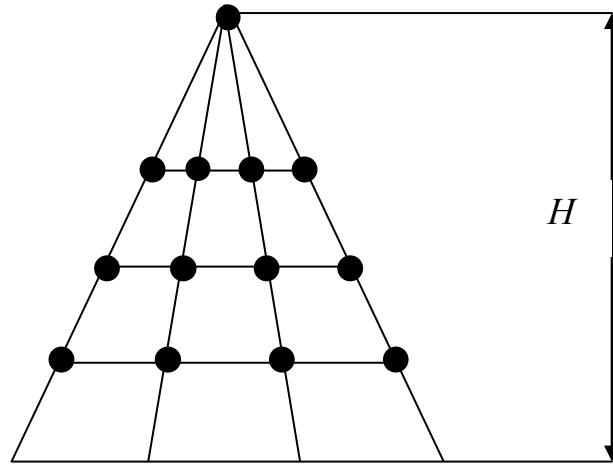


Рис. 1. Узагальнена схема розташування джерел викиду з терикону

Верхня точка терикону розглядається як точкове джерело на висоті  $H$ . В основі моделі, що описує поведінку забруднюючої речовини в атмосфері з цієї точки, лежить інтерполяційна модель Гаусового типу, запропонована Сеттоном.

Максимальна концентрація вздовж осової лінії викиду за напрямком вітру:

$$C(X,0,0) = \frac{2000M}{\pi \cdot e \cdot U_1 \cdot H^2} \cdot \frac{C_z}{C_y} \quad (1.1)$$

де  $H$  – ефективна висота терикону;  $U_1$  – швидкість вітру;  $M$  – кількість газу, що викидається з терикону (масовий потік викиду), г/с;  $C_y, C_z$  – коефіцієнти розсіювання в горизонтальному і вертикальному напрямках відповідно.

Відстань від терикону, на якій спостерігається максимальна концентрація:

$$x_{\max} = \left( \frac{H^2}{C_z^2} \right)^{\frac{1}{2-n}} \quad (1.2)$$

де  $n$  може приймати такі значення:

- при значному падінні температури з висотою  $n < 0$ ;
- при сталих умовах  $n = 0 - 0,5$ ;
- при нульовому градієнті  $n = 0 - 0,2$ ;
- при слабкій інверсії  $n = 0,33$ ;
- при сильно розвинутій інверсії  $n = 0,5$ .

Мультимодель процесу викидів з точок, що знаходяться на відповідних ярусах терикону, базується на результатах інтегрування рівняння турбулентної дифузії атмосферних домішок (рівняння Берлянда), тобто максимальне значення приземної концентрації, визначається за формулою[5]:

$$C_m = \frac{AMFm\eta}{h^2 \cdot \sqrt[3]{V\Delta T}} \quad (1.3)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери;  $M$  – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу, г/с;  $F$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в

атмосферному повітрі;  $m$  і  $n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу забруднюючих речовин з терикону;  $h$  – висота, з якої відбувається викид, м;  $\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (для рівної поверхні з перепадами висот не більше 50 м на 1 км  $\eta=1$ ;  $\Delta T$  – різниця між температурою газоповітряної суміші і температурою навколишнього середовища;  $V$  – витрати газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с.

Значення коефіцієнта  $A$ , яке відповідає несприятливим природним умовам, при яких концентрація шкідливих речовин у повітрі максимальна, приймається рівним 160 – для України на північ від 52° Пн. ш. (для розташованих в Україні териконів висотою менше 200 м в зоні від 50 до 52° Пн. ш. – 180, а на південь від 50° Пн. ш. – 200).

Забруднюючі речовини (важкі метали, радіоактивні елементи) потрапляють в атмосферу також внаслідок здування пилу з териконів. Тільки з 1 м<sup>2</sup> незакріпленої поверхні терикону, залежно від швидкості вітру, здувається до 50 мг/с і більше пилу. Кількість пилу з діючих териконів (на які ще складуються відходи) можна визначити як

$$П_1 = 0,001k \cdot H \cdot D, \quad (1.4)$$

де  $П_1$  – кількість пилу, т/доб;  $H$  – висота терикону (м);  $k$  – коефіцієнт, що залежить від висоти відсіпки та кількості породи (орієнтовно дорівнює 0,01);  $D$  – кількість породи, яка викидається у відвали, т/доб.

Кількість пилу з недіючих териконів можна визначається за формулою

$$П_2 = 2 \cdot 10^{-5} S \quad (1.5)$$

де  $П_2$  – кількість пилу, т/доб;  $S$  – поверхня терикону з якою здувається пил, м<sup>2</sup>.

## Висновки

Така модель надає можливість дослідити техногенне навантаження в атмосфері району, прилеглого до териконів, і стане базою для подальшого дослідження трансформації забруднювачів та їх сполук в атмосфері, а також визначити їх вплив на інші компоненти біосфери.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Основные черты геохимии урана* [Текст] /В.Л.Барсуков, В.И.Герасимовский, А.И.Германов и др. – М: Издательство академии наук СССР, 1963.,–352с.
2. *Василев, С.* Минералогия и геохимия терриконов и продукты техногенного горения и пиролиза [Текст]/ С.Василев, Х.Василева // сб. науч. ст. Центр. лаб. по минералогии и кристаллографии.– София, 2005.с. 33–40.
3. *Заграй, Я. М.* Вплив фізичних і хімічних забруднювачів на еко- і біосистеми. [Текст] /Я.М.Заграй, О.А.Котовенко, О.Ю.Мірошніченко. – К.: КНУБА, 2009.– 276с.
4. *Леонов, П.А.* Породные отвалы угольных шахт. [Текст] /П.А.Леонов, Б.А.Сурначев. – М.: Недра, 1970.–112с.
5. *Берлянд, М.Е.* Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха, [Текст], / сб. Государственный Комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды; под ред. д-ра физ.-матем. наук М. Е. Берлянда. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983.–134 с.