

## СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ ЗМЕНШЕННЯ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

Я.М.Семчук, Л.В.Палійчук

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264

e-mail: public@nuing.edu.ua

*Приведены сведения об источниках и интенсивности пылевыделения в карьере. Изложены способы и средства создания нормализованной атмосферы. Предложено использовать для искусственного проветривания карьера вентиляционно-оросительные вентиляционные установки, а также разработаны требования и рекомендации по их использованию.*

*In the article there has been given the information about the sources of dusting intensity in the open-cast mine. The author has described the ways and methods for creating a normalized atmosphere in the open-cast mine. For the intensive aeration (ventilation) of the open-cast mine, it has been offered to use ventilation ventilatory sprinbler. The requirements and recommendations for their usage have been developed as well.*

Мета досліджень — розробка заходів та засобів для створення нормалізованих санітарно-гігієнічних умов на Домбровському кар'єрі.

Актуальність роботи зумовлена інтенсивним виділенням шкідливих домішок в атмосферу кар'єру, підвищенням вмістом пилу, шкідливих газів на окремих робочих місцях та можливими загальнокар'єрними забрудненнями при відробці нижніх горизонтів родовища.

Новизна досліджень полягає в тому, що калійний кар'єр, на відміну від відкритих гірничих розробок інших галузей, має свої геологічні, гірничо-технічні, санітарно-гігієнічні та ландшафтні особливості, внаслідок чого пряме перенесення відомого позитивного досвіду в багатьох випадках є неможливим.

Домбровський кар'єр з видобутку калійних солей Калуш-Голинського родовища розташований на відстані 3 км від м. Калуша (Івано-Франківська обл.).

Експлуатація родовища розпочата з 1967 року, кінець відробки орієнтовано планується на 2016 рік. Загальні експлуатаційні запаси калійних руд родовища на початок проведення гірничих робіт становили близько 84 млн. т, а об'єм покрівельних порід в контурі кар'єру — 60 млн. м<sup>3</sup> (в тому числі пухкі породи — 27 млн. м<sup>3</sup>, скальні — 33 млн. м<sup>3</sup>). За проектом відробка родовища проводилася на двох ділянках: спочатку на Південній, а з 1982 р. — на Північній.

Система розробки — транспортна із зовнішнім відвалоутворенням та паралельним переміщенням покрівельних та видобувних робіт. Розпушування руди та скальної покрівлі здійснюються буровибуховим способом; навантаження — екскаваторами; транспортування — автосамоскидами [1].

Поступлення шкідливих газів та пилу в чашу відкритих гірничих розробок відбувається як від внутрішніх, так і від зовнішніх джерел.

Внутрішні джерела: бурові верстати, екскаватори, автосамоскиди, бульдозери, масові вибухи, навали підірваної гірничої маси, внутрішньокар'єрні і автодороги, поверхня виступів і берм.

Зовнішні джерела: навколокар'єрна територія (прикар'єрна поверхня та автодороги, зовнішні відвали), промислові об'єкти (калійне та магнеєве виробництва, вапняковий завод, фабрика грануляції, дробильний цех).

Склад шкідливих домішок в атмосфері кар'єру залежно від технологічних процесів, геологічних, метеорологічних та інших чинників коливається в широких межах (табл. 1). За значимо, що для умов Домбровського кар'єру ГДК за пилом повинно становити 4 мг/м<sup>3</sup>.

За чинником створення нормалізованих умов праці в кар'єрі район характеризується як від'ємними, так і додатними значеннями кліматичних параметрів атмосфери. До перших відносяться невеликі швидкості вітру (середньорічна — 3 м/с), значний відсоток повторюваності штилю (середньорічна — 28%), порівняно низька хмарність у нічний час (середньорічна вночі — 6,1 бали), від'ємні градієнти температур ґрунту — повітря у вечірній час, вночі та вранці, що є особливо характерним для холодного періоду року. До других відносяться підвищена відносна вологість повітря (середньорічна — 79%) і значна кількість опадів — 719 мм/рік. Критична відносна вологість повітря, при якій відбувається інтенсивна адсорбція вологи на частинках калійного пилу та їх швидке осадження, пов'язане з цим, для родовища дорівнює 71,6%. Згідно з багаторічними осередненими даними відносна вологість повітря практично нижча від критичної спостерігається тільки протягом денного періоду максимальних температур (12–18 год.) другої половини весни, влітку та у першій половині осені.

Ефективність винесення шкідливих домішок з атмосфери кар'єру вітровими потоками при рециркуляційних схемах повітрообміну та рівному прикар'єрному рельєфі можна обчислити за формулою

$$\eta_p = 0,11U^{0,64} \left( \frac{L_k}{H_k} \right)^{1,12}, \quad (1)$$

де  $\eta_p$  — ефективність винесення шкідливих домішок.

**Таблиця 1 – Рівень запиленості повітря в кар’єрі за відсутності опадів**

Місця пилового забруднення	Вміст пилу, мг/м <sup>3</sup>	
	від – до	середнє значення
Буріння свердловин верстатами СБМК–5: на робочому місці бурильника з підвітряного боку; вологість пилу – 1,56%	721,8 – 516,0	309,8
Те ж саме, вологість пилу – 0,16%	925,6 – 3231,6	2345,1
На робочому місці бурильника з навітряного боку; вологість пилу – 1,56%	43,1 – 63,6	54,9
Те ж саме, вологість пилу – 0,16%	7,2 – 593,8	128,4
На відстані 10–12,5 м від верстата з підвітряного боку; вологість пилу – 1,56%	70,9 – 198,1	141,4
Те ж саме; вологість пилу – 0,16%	111,1 – 749,7	467,0
Навантаження гірничої маси екскаваторами ЕКГ-4,6: на відстані 20 м з підвітряного боку	1,6 – 54,3	19,1
У кабіні працюючого екскаватора	1,0 – 10,0	4,1
У кабіні БезАЗ–540А під час навантаження гірничої маси	6,5	–
У кабіні працюючого бульдозера	4,5	–
Транспортування гірничої маси автосамоскидами: на в’їзній траншеї, на відстані 16–20 м з підвітряного боку від дороги	2,6 – 21,9	13,4
Занесення пилу вітром з прикар’єрної території на поступаючому струмені, північний борт	0,9 – 1,7	0,9

**Таблиця 2 – Технічна характеристика установок УВУ та УМП–1**

Параметри	УВУ	УМП-1
Двигун	Турбореактивний РД-3М-500	Авіаційний гвинт АВ-7Н-161 з дизелем типу ЛМЗ-2404
База	БелАЗ - 540	БелАЗ – 548А
Тип струменя	неізотремичний	ізотермічний
Початкові параметри струменя		
- діаметр, м	1,15	3,6
- швидкість, м/с	310,0	22,6
- витрата, м <sup>3</sup> /с	322	220
- надлишкова температура, °С	327	0
- вертикальний кут витікання, град	±45	±15
Дальнобійність струменя (до перерізу із середньою по площі швидкістю 0,6 м/с), м		
- по осі струменя	200	160
- вертикальна при температурному градієнті 0,0 град./м	320	50
Витрата струменя (в перерізі із середньою по площі швидкістю 0,8 м/с), м <sup>3</sup> /с	33000	3500
Витрата води, м <sup>3</sup> /хв	0 - 17	0 - 2,4
Об’єм цистерни для води, м <sup>3</sup>	зовнішнє джерело	30
Габарити (довжина x ширину x висоту), м	9 x 4 x 4	10,5 x 3,8 x 4,3
Мобільність	пересувна	пересувна
Автономність	повна	повна
Завод-виробник	–	пермський з-д гірничо-шахтного машинобудування
Калькотримач	Казанське проектне бюро машинобудування	–
Вартість, тис. грн.	70	60

$$\eta_p = \frac{C_n - C_k}{C_n}, \quad (2)$$

де:  $C_n, C_k$  – відповідно, початкова (при штилі) і кінцева (при вітрі) із швидкістю  $U$  фонові концентрації шкідливих домішок;  $L_k$  – середня довжина кар'єру по потоку, м;  $H_k$  – глибина кар'єру, м;  $U$  – середня швидкість у шарі вітрового потоку товщиною  $h$ , що бере участь у провітрюванні кар'єру, м/с.

Коли зовнішня границя вільного потоку перетинає дно кар'єру

$$h = 0,48 H_k. \quad (3)$$

Якщо зовнішня границя вільного потоку виходить на навітряний борт кар'єру, то

$$h = \frac{0,358 L_k}{3,74 + \text{ctg } \beta}, \quad \text{м} \quad (4)$$

де  $\beta$  – кут відкосу навітряного борту кар'єру, град.

Значення  $U$  знаходиться експериментально або вираховується за формулою

$$U = h^{0,757} (G+1) \times \quad (5)$$

$\times [0,473 - 0,001(\mu_0 + 100) - 0,085 \lg(Z_0 + 1)]$ , м/с  
де:  $G$  – величина геострофічного вітру, м/с;  $\mu_0$  – параметр термодинамічної стійкості;  $Z_0$  – параметр шорсткості підшви прикар'єрної поверхні, м.

Значення  $G, \mu_0, Z_0$  для визначення періодів року беруться з даних гідрометцентру.

У формулі (1), коли  $\eta_p = 0$ , відсутнє природне динамічне провітрювання кар'єру, при  $\eta \rightarrow 1$ , здійснюється повне винесення шкідливих домішок.

Мінімальна критична швидкість вітру, що забезпечує ефективний загальнокар'єрний повітрообмін при рівному прикар'єрному рельєфі,

$$U_p = \frac{31,465 (C_n - 0,3 C_{ГДК})}{C_n^{1,56} \left( \frac{L_k}{H_k} \right)^{1,75}}, \quad \text{м/с} \quad (6)$$

де  $C_{ГДК}$  – гранично-допустима концентрація.

За необхідності повного очищення атмосфери кар'єру, а також коли значення є невідомим, умовно приймається  $C_k = 0$ , тобто  $\eta_p \rightarrow 1$ , тоді

$$U_p = \frac{31,465}{\left( \frac{L_k}{H_k} \right)^{1,75}}, \quad \text{м/с}. \quad (7)$$

При стійкому стані атмосфери (вертикальний градієнт температури менший від 0,01 град/м і  $U < U_p$  треба призупиняти проведення технологічних операцій в кар'єрі, пов'язаних з інтенсивним виділенням шкідливих речовин або здійснювати штучне загальнокар'єрне провітрювання.

При неефективності природного провітрювання кар'єру, а також для гідрозрошування підірваної маси, розсіювання та стримування пилогазових хмар масових вибухів можна використати вентиляційно-зрошувальну вентиляторну установку УМП-1 і універсальну вентиляторну установку УВУ (табл. 2) [2].

Залежно від метеорологічних умов, вертикального профілю, масштабу та рівня забрудненості атмосфери кар'єру, його геометричних параметрів на конкретний період обробки, застосовують один з чотирьох рекомендованих способів штучного провітрювання:

а) спосіб перемішування – розрідження забрудненого повітря в об'ємі всього або значної частини кар'єру з доведенням концентрації шкідливих речовин до 0,3 граничнодопустимої концентрації. Його суть полягає в тому, що під час провітрювання потік установки подається в різні частини забрудненого об'єму з допомогою зміни через 1–5 хв. горизонтального, а при необхідності вертикального кута витікання.

Спосіб застосовується при незначному короткочасному забрудненні частини кар'єру,

коли воно не менше, ніж у  $\left( \frac{C_n}{0,3} \right) C_{ГДК}$  разів від всього об'єму кар'єру. При цьому необхідно враховувати інтенсивність джерел забруднення атмосфери та очікувану тривалість метеорологічних умов, що сприяють накопиченню шкідливих домішок;

б) спосіб винесення – видалення забрудненого повітря з кар'єру – заснований на ежекційних властивостях вільних струменів, застосовується при помірному і сильному забрудненні, коли концентрація шкідливих речовин є вищою від граничнодопустимої в об'ємі всього або значній частині кар'єру.

При способі вентиляції “на винос” враховується вертикальний температурний градієнт, профіль, масштаб і ступінь забруднення атмосфери, задається необхідна висота забрудненого повітря  $H_n$ ,

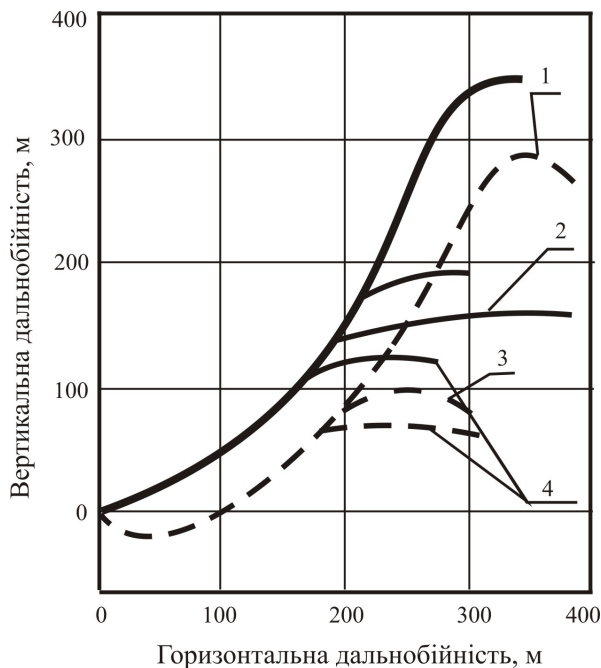
$$H_n = H_k - h_{\text{уст}} + h_{\text{нр}}, \quad (8)$$

де:  $h_{\text{уст}}$  – висота розміщення вентиляторної установки відносно дна кар'єру, м;  $h_{\text{нр}}$  – висота відносно прикар'єрної території, на яку треба винести забруднене повітря з метою його розрідження та не потрапляння в кар'єр, м.

На основі практичних даних  $h_{\text{нр}} \geq 50$  м,  $H_n$  повинна бути меншою за максимальну висоту підйому струменя вентиляційної установки при даних метеорологічних умовах  $H_n$ .

Максимальна висота підйому, а також горизонтальна дальнобійність струменя установки УБУ, визначається з рис. 1.

в) комбінований спосіб – одночасне або послідовне застосування способів перемішування та винесення при повільному і тривалому накопиченні шкідливих домішок в атмосфері кар'єру;



1, 2, 3, 4 – траєкторія струменя при температурних градієнтах відповідно 0,0; 0,02; 0,04; 0,06 °С/м

**Рисунок 1 – Графік для визначення горизонтальної та вертикальної дальності струменя пароповітряної суміші (траєкторія струменя при куті витікання –15°)**

г) спосіб пилогазопридушування та загальнокар'єрного провітрювання – придушування шкідливих домішок шляхом обробки забрудненого об'єму повітря теплими масами пароповітряного струменя як без, так із подальшим його винесенням за межі кар'єру. Використання пароповітряних сумішей дозволяє придушувати в атмосфері кар'єру до 90% пилу, до 40% оксиду азоту і до 100% таких шкідливих речовин як альдегіди.

Спосіб є універсальним, його рекомендують для застосування в першу чергу для умов сильного і тривалого забруднення, великих від'ємних вертикальних градієнтів температури і штилю в атмосфері над кар'єром та коли гостро стоїть питання, пов'язане з охороною навколишнього середовища.

Розхід води при створенні пароповітряних струменів установкою УВУ під час її роботи в режимі 0,8 номіналу становить 1 м<sup>3</sup>/хв.

Час подачі теплих мас пароповітряного струменя УВУ у забруднений об'єм повітря та перемішування для його винесення на задану висоту

$$\tau = 5,85 \cdot 10^7 P_3 (0,01 - \gamma)^{0,844} H_H^{0,744} \times \left[ 235,74 f^{-1,749} + 2,85 \cdot 10^{-8} (50 + t_3)^{451} + 1 \right], \text{ хв.} \quad (9)$$

де:  $P_3$  – кількість забрудненого повітря, кг;  $\gamma$  – вертикальний градієнт температури, град/м, який існує в даний момент;  $f_3, t_3$  – відповідно відносна вологість (%) і температура (°С) забрудненого повітря.

Вимоги при провітрюванні кар'єру установками, що створюють вільні ступені:

- до провітрювання приступають у початковий період забруднення;
- з метою виключення зривання пилу і руйнування струменя, він не повинен торкатися виступів, берм та обладнання;
- струмінь повинен мати напрямок супутний з вітровими потоками або внутрішньокар'єрними повітряними течіями;
- бажано, щоб вся робоча (ежектуюча) частина струменя знаходилася у забрудненому об'ємі;
- при провітрюванні “на винос” для виключення рециркуляції необхідно, щоб забруднене повітря, яке вимивається в надкар'єрний вітровий потік, видувалося за контур кар'єру;
- шкідливі речовини не повинні потрапляти на промислову площадку або до житлових масивів;

- збільшити швидкість вітру у приземному шарі, що дасть змогу інтенсифікувати природний динамічний повітрообмін в кар'єрі. Для цієї мети з випередженням розвитку фронту гірничих робіт на 106–110 м на вільних північних та північно-західних ділянках прикар'єрної території створювати поверхні із зменшеною шорсткістю (з величиною параметру шорсткості 0,5–1,0 см). Операції складаються з бульдозерного планування поверхні, її коткування і обробку сульфатно-бітумною емульсією з витратою 1 л на 1 м<sup>2</sup> поверхні. Це дасть змогу збільшити швидкості вітрів, які повторюються 30,6% у 1,16–1,24 рази та інтенсифікувати загальнокар'єрний повітрообмін у 1,10–1,15 рази.

Площа із зменшеною шорсткістю повинна охоплювати весь навітряний бік кар'єру з довжиною по потоку:

$$l_n = 46,8 + 33,5 \lg h, \text{ м.} \quad (10)$$

Ефективність загальнокар'єрного повітрообміну при використанні даної рекомендації визначається залежністю

$$\eta_{ш} = 0,11 U_{ш}^{0,64} \left( \frac{L_k}{H_k} \right)^{1,12}, \quad (11)$$

де  $U_{ш}$  – середня швидкість у шарі  $h$  при малій швидкості, м/с, розраховується за формулою (5) з урахуванням нового значення  $Z_0$ ;

- збільшити швидкості вітру та інтенсифікувати природне динамічне провітрювання за допомогою створення на північному заході прикар'єрної території за дренажною траншеєю повітрозабору, який являє собою споруду, що складається з крил – вузьких відвалів, розміщених під певним кутом один до одного та шпари прорану між ними. Параметри повітрозабору: висота крил – по 60 м, довжина – по 600 м, кут між ними – 90°; ширина прорану – 850 м.

Ефективність природного динамічного провітрювання кар'єру при наявності повітрозабору

$$\eta_e = \eta_p \left( 1 + b \frac{h_k}{L_k} \right), \quad (12)$$

критична швидкість

$$U_{\epsilon} = \frac{U_{\epsilon}}{\left(1 + \epsilon \frac{h_k}{L_k}\right)^{1,56}}, \text{ м/с.} \quad (13)$$

де:

$$\epsilon = 9,54 \alpha_{\epsilon} - 2,02 \alpha_{\epsilon}^2 - 8,33 \exp\left(-6,25 \frac{p}{B_k}\right) - 5,71;$$

$\alpha_{\epsilon}$  – кут між крилами, рад;  $p$  – ширина про-рану, м;  $B_k$  – середня довжина кар'єру перпендикулярна до напрямку потоку, м;  $h_k$  – висота крил, м.

Таким чином, створення повітрязабору забезпечить підвищення повітрообміну при вітрах ПнЗ, ПнПнЗ та частково вітрах північних напрямків, що мають річну повторюваність 22,5% або 1,18 рази. Необхідні критичні швидкості вітру вказаних напрямків, що забезпечують повне винесення шкідливих сумішей з кар'єру без їх накопичення, зменшуються в 1,3 рази. Крім того, північне крило кар'єру є перешкодою на шляху розповсюдження шкідливих речовин від зовнішнього джерела, приблизно на 50% та скоротить їх потрапляння в кар'єр.

### *Література*

1. Семчук Я.М., Шкіца Л.Є. Екологічні проблеми при відкритій розробці калійних родовищ на Прикарпатті // Экотехнология и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 52-55.

2. Инструкция по контролю содержания пыли на территориях горнорудной промышленности (рудниках, карьерах, геологоразведочных работах, обогатительных і агломерационных фабриках). – М.: Недра, 1996. – 32 с.