

© В.Є. Колесник¹, Ю.В. Бучавий¹, К.В. Лясов¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩ КОНТАКТУ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ Й ОБ'ЄМІВ ПОРИСТОГО ПРОСТОРУ МАСИВУ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ЇХ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

© V. Kolesnik¹, Y. Buchavyi¹, K. Liasov¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DETERMINING THE AREAS OF CONTACT OF EXTERNAL SURFACES AND VOLUMES OF POROUS SPACE OF ARRAY OF METALLURGICAL SLAG WHEN EVALUATING ECOLOGICAL HAZARD

Мета. Визначення площ контакту зовнішніх поверхонь складованого або відсипаного як ґрунтовий баласт металургійного шлаку, а також об'ємів пористого простору в його масиві, необхідних для достовірної оцінки емісії екологічно небезпечних речовин зі шлаку в атмосферне повітря та стічну воду із застосуванням спеціалізованої ГІС.

Методика дослідження передбачала наукове обґрунтування алгоритмів оцінювання площ контакту чи об'ємів пористого простору шлаку з деталізацією його рельєфу на макрорівні, достатньому для визначення емісії екологічно небезпечних забруднювачів як з зовнішньої поверхні насипного шлаку в атмосферу, так і з його масиву в стік.

Результати дослідження. Проаналізовано особливості рельєфу зовнішньої поверхні та об'ємів пористого простору масиву складованих у відвал або відсипаних як ґрунтовий баласт металургійних шлаків, що впливають на обсяги їх контакту та взаємодії з атмосферним повітрям і водою опадів, з урахуванням показників гранулометричного складу і пористості матеріалу насипного шлаку та його зсувонебезпеки. Оцінено кратність перевищення площі рельєфної поверхні шлаку над його геометричною (топологічною) поверхнею. Формалізовано алгоритми встановлення об'ємів масиву шлаку та води опадів, що потрапить в його пористий простір, утворюючи стік.

Наукова новизна. Доведено, що при дистанційному визначенні площі зовнішньої поверхні насипного шлаку, в тому числі й гранульованого, на макрорівні доцільно вважати її складеною або з пів-кульок (для шматків чи гранул округлої форми), або з правильних пірамідок (для незграбних шматків шлаку), причому незалежно від їх розмірів оцінна межа кратності перевищення площі рельєфної поверхні над геометричною (топологічною) становитиме відповідно або 2, або 1,73 при середньому значенні $1,86 \pm 0,13$. Для визначення об'ємів масиву шлаку та води опадів, що потрапить в його пористий простір, утворюючи відвальний стік, запропоновано показник відносної (питомої) інтенсивності опадів, який характеризує співвідношення фактичного об'єму води опадів, що надходить в кубометр насипного шлаку з об'ємом пор-порожнин в ньому, та відповідно визначає об'єм шлаку, що забезпечує емісію забруднювачів у стік під час контакту води з матеріалом шлаку.

Практичне значення. Урахування отриманих результатів стосовно площ контакту зовнішніх поверхонь та об'ємів пористого простору масиву насипних металургійних шлаків дозволить підвищити достовірність оцінювання емісії забруднювачів в атмосферне повітря і стічну воду та ступеня екологічної небезпеки шлаку для довкілля, що пропонується реалізовувати в спеціалізованій ГІС контролю і управління металургійними шлаковими відходами.

Ключові слова: екологічна небезпека металургійних шлаків; контактні поверхні шлаку з атмосферою і водою опадів; площа рельєфної поверхні насипного шлаку; пористість масиву шлаку.

Вступ. Щорічно на підприємствах чорної металургії утворюються багатотоннажні відходи у вигляді металургійних шлаків, відвали яких являють екологічну небезпеку, що проявляється в забрудненні атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод та ґрунту. Навіть старі, виведені з експлуатації відвали, негативно впливають на атмосферу, гідросферу і ґрунтовий покрив навколишньої місцевості, а через них – на стан флори, фауни і здоров'я людей [1–4].

Постановка задачі. Більшість шлаків за своїм складом та властивостями наближена до потрібної у будівництві природної сировини, що дозволяє знизити споживання останньої на 10...30 %, тобто за рахунок утилізації шлаку суттєво зберегти природні ресурси та одночасно мінімізувати екологічні наслідки від впливу шлаків на довкілля. Є й інші сфери застосування металургійних шлаків, що спрямовані як на ресурсозбереження, так і на захист довкілля. Отже шлак не тільки складається у відвалах, але використовується для відсипання в основу доріг або як ґрунт при рекультивації порушених земель, укладання в основу дамб чи гребель різного призначення тощо [5]. При цьому, негативний вплив шлаку на екологічну безпеку прилеглих територій залишається, зокрема, за рахунок постійної емісії зі шлаку екологічно небезпечних хімічних речовин в атмосферу і стічну воду, як на полігонах складування, так в місцях його відсипання як ґрунту. Отже необхідний моніторинг поверхонь складованого або відсипаного як ґрунтовий баласт металургійного шлаку, що виступає розосередженим джерелом емісії забруднювачів. Отримана при цьому інформація потрібна для оцінювання обсягів контакту шлаку з атмосферним повітрям та водою опадів, що в свою чергу дозволяє достатньо достовірно визначити емісію забруднювачів зі шлаку в атмосферу та стічну воду, а в кінцевому результаті ступінь його екологічної небезпеки, зокрема з використанням спеціалізованої географічної інформаційної системи – ГІС контролю і управління металургійними шлаковими відходами, саме для розробки якої і виконуються поточні дослідження.

Враховуючи викладене, **метою роботи** стало визначення площ контакту зовнішніх поверхонь складованого або відсипаного як ґрунтовий баласт металургійного шлаку, а також об'ємів пористого простору в його масиві, необхідних для достовірної оцінки емісії екологічно небезпечних речовин зі шлаку в атмосферне повітря та стічну воду із застосуванням спеціалізованої ГІС.

Основні результати. Для досягнення поставленої мети аналізувалися особливості рельєфу зовнішньої поверхні та об'ємів пористого простору масиву складованих у відвал або відсипаних як ґрунтовий баласт металургійних шлаків, що впливають на обсяги їх контакту з атмосферним повітрям і водою опадів, в тому числі, показники гранулометричного складу і пористості насипного матеріалу, урахування яких в сукупності дозволяє підвищити достовірність визначення емісію забруднювачів та ступінь екологічної небезпеки шлаку.

Як відомо металургійний шлак, видалений з розплаву і охолоджений водою зберігає природний розмір частинок мінералів, що його утворюють, та який варіюється в межах від зерен розміром 1...1,6 мм, визначеним за результатами ситового аналізу, до кусків, розміром порядку 250 мм, що визначається візуально [2]. Загальний вигляд шлаку, що дає певне уявлення про розміри його частинок, гранул чи кусків, тобто про гранулометричний склад, наведений на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вигляд насипного шлаку: а – кускового відвального доменного шлаку (1,125 м); б – шлакового щебеню (0,45 м); в – гранульованого шлаку (0,225 м), де в дужках як чинник масштабу наведений розмір нижнього обрізу зображення

Очевидно, що поверхня насипного шлаку та відповідно межа розділу шлак – атмосферне повітря не є пласкою. Практично є шорстка поверхня границі розділу двох фаз, рельєф якої може визначатися видом шлаку, формою і гранулометричним складом його частинок або гранул. Інакше кажучи, на відносно рівній поверні укосу або плоскій вершині шлакового відвалу чи насипу, що спостерігаються, наприклад, при дистанційному зондуванні поверхні, завжди є нерівності, обумовлені наявністю різних за розмірами шматків чи гранул шлаку. Поруч з великими кусками розташовуються менші за розмірами, між ними – ще менші і т.д., тобто модель зовнішньої поверхні насипного шлаку на макрорівні можна представити зображенням, наведеним на рис. 2.



Рис. 2. Модель зовнішньої рельєфної поверхні насипного шлаку

Згідно з наведеною моделлю шматки шлаку, що знаходяться на зовнішній поверхні виглядають дещо зануреними в масив шлаку до умовно плоскої межі, що знаходиться нижче. Пряма жирна лінія на рис. 2, що позначає указану межу, являє собою геометричну проекцію пласкої досліджуваної ділянки поверхні шлаку на вертикальну площину. Геометрична площа ділянки дорівнюватиме – S_w , яку можна визначити, наприклад, за результатом дистанційних (супутникових або радарних) спостережень за територіями шлакових відвалів. Проте, саме рельєфна поверхня шлаку контактує з вільною атмосферою, площа якого становитиме – S_{fact} та визначатиме обсяги емісії забруднювачів з зовнішньої поверхні матеріалу шлаку в повітря, в тому числі й під дією вітру.

Очевидно, що наявність розвиненого рельєфу поверхні шлаку, призведе до певного перевищення контактної площі – S_{fact} над геометричною (топологічною) площею виділеної ділянки – S_w , що залежатиме від мікро- чи макрорівня деталізації нерівностей рельєфу шлаку. Примітно, якщо підвищити рівень указаної на рис. 2 геометрично плоскої межі, тобто підвищити ступінь макрорівня, можна нівелювати вплив менших частинок чи шматочків шлаку на визначену площу рельєфної поверхні – S_{fact} , аж доки вона не буде відрізнятися від S_w лише за рахунок опуклої поверхні горбків найбільш крупних шматків шлаку, що перевищуватимуть умовну площину, позначену на рис. 2 пунктирною лінією. Визначена при цьому площа рельєфної поверхні все одно перевищуватиме топологічну, хоч і наблизятиметься до неї.

Наслідки контакту поверхні шлаку з атмосферним повітрям не завжди очевидні, якщо аналізувати, наприклад, газовиділення або пилоутворення, оскільки в цих процесах задіяні різні механізми чи впливові чинники. Так, емісія екологічно небезпечних газів відбуватися з його зовнішньої поверхні одразу після розвантаження шлаку, а з часом і з внутрішніх пор у масиві насипного шлаку в результаті десорбції. Проте, перш ніж оцінювати обсяги емісії забруднювачів з поверхні шлаку в атмосферу, варто спочатку оцінити фактичну площу її зовнішнього контакту з атмосферою – S_{fact} , причому з таким рівнем деталізації рельєфної поверхні шлаку, який би відповідав взаємодії шлаку з атмосферним повітрям, наприклад, на макрорівні, коли можливо визначити як емісію екологічно небезпечних газів, так і пилу з поверхні шлаку.

При указаному підході, поверхню насипного шлаку з шматків округлої форми, в тому числі й гранульованого шлаку, можна вважати складеними з кульок частково занурених у масив шлаку, тобто на макрорівні вважати обрану ділянку шлаку повністю покритою, наприклад, пів-кульками певних діаметрів. В такому разі площа рельєфної поверхні – S_{fac} прагнучиме до значення $2S_w$, причому незалежно від діаметру кульок-гранул, оскільки так співвідноситься площа опуклою поверхні круглої пів-кульки з площею її основи, тобто кратність перевищення рельєфної поверхні над топологічною складе:

$$k = \frac{S_{fac}}{S_w} = \frac{2\pi r^2}{\pi r^2} = 2,$$

де r – радіус пів-кульки.

Отже, за такою спрощеною моделлю для шлаку з кусками округлої форми, в тому числі і для гранульованого (рис. 2 б, в), матимемо 2-кратне перевищення площі рельєфної поверхні шлаку над її геометричною (топологічною) поверхнею, зокрема яку визначають засобами дистанційного зондування території відвалу чи насипу. Якщо ж замість кульок обрати, наприклад, правильну піраміду, яку доцільно застосувати для незграбних шматків шлаку, зображеного на рис. 2 а, то кратність перевищення площі бокової поверхні піраміди над площею її основи дорівнюватиме:

$$k = \frac{S_{fac}}{S_w} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{a^2} = \sqrt{3} \approx 1,73,$$

де a – довжина ребра піраміди.

Таким чином, для насипних шлаків отримаємо оцінку межу кратності (k) перевищення площі їх рельєфної поверхні над геометричною (топологічною) поверхнею – від 1,73 до 2. Ці значення або їх середню величину $1,86 \pm 0,13$ доцільно використовувати для визначення фактичної площі рельєфної поверхні насипного шлаку на макрорівні, як $S_{fac} = 1,86 S_w$, з відхиленням близько $\pm 7\%$, зокрема, при розрахунку обсягів емісії з поверхні шлаку в атмосферне повітря, як для газоподібних забруднювачів, так і у разі здування шлакового пилу вітром, наприклад, за питомими показниками емісії забруднювачів з одиниці топологічної поверхні. Такий підхід вважаємо цілком достатнім для оцінок екологічної небезпеки свіже розвантажених металургійних шлаків для атмосферного повітря на територіях, прилеглих до зони їх відсипання.

Тепер розглянемо порядок визначення об'ємів пористого простору в масиві насипного шлаку як джерела надходження екологічно небезпечних речовин, з одного боку, в атмосферне повітря, через тривалий вихід газів з пор-порожнини переважно в результаті їх десорбції з маси шлаку, що межує з указаними порожнинами, а з іншого, – в стічну воду, що утворюється з води опадів за рахунок її фільтрації через пористий простір у насипному шлаку, де відбувається емісія певних забруднювачів, включаючи важкі метали, в стік [3].

Оскільки десорбція газів з матеріалів достатньо тривалий процес, що відбувається переважно на молекулярному рівні, обмежимося аналізом об'ємів простору в насипному шлаку, через який фільтрується вода опадів, на макрорівні. Тут варто згадати, що металургійний шлак має високу здатність швидко вбирати воду, зокрема атмосферних опадів, і також швидко її повертати [2, 6], а це указує на те, що не активований шлак зазвичай не реагує з водою, тобто майже вся вода опадів (за виключенням частки, що випаровуватиметься в атмосферу) надійде в стік.

Таким чином, для визначення обсягів води, що контактуватиме зі шлаком на його відвалі треба спочатку визначити, з одного боку, площу основи відвалу чи насипу шлаку, інакше кажучи площу їх горизонтальної проекції зовнішньої поверхні (S_0), яка дозволить за інтенсивністю метеорологічних опадів в мм оцінити об'єм води, що потрапить у шлак на досліджену поверхню., а з іншого, –

об'єми складовано або відсипаного шлаку з урахуванням макрорельєфу загальної поверхні відвалу чи насипу.

Зазначені величини відносно просто визначаються аналітичними засобами спеціалізованої ГІС на основі даних дистанційного зондування рельєфу поверхні відвалу. Об'єми ж води опадів, що контактуватимуть зі шлаком пропонується визначати з урахуванням об'ємів пор-порожнин в його насипному масиві, куди і потраплятиме вода опадів, а це, в кінцевому результаті, дозволить визначити масу шлаку яка взаємодіяла під час опадів з водою, а далі, – обсяги емісії забруднювачів зі шлаку у стічну воду.

Тепер стосовно визначення об'ємів пор-порожнин в масиві насипного шлаку. Нагадаємо, що густина матеріалу доменного шлаку в охолодженому стані становить 2700...3000 кг/м³ [2]. Отже в середньому складе: $\rho_{ш} = 2850 \text{ кг/м}^3 \pm 5\%$. Між тим, насипна щільність шлаку складає 1300...1500 кг/м³ при середній: $\rho_{нш} = 1400 \text{ кг/м}^3 \pm 7\%$, що, разом з густиною матеріалу шлаку – $\rho_{ш}$, є важливими показником для оперативного визначення засобами спеціалізованої ГІС обсягів (об'єму та маси) накопичуваного на полігоні шлаку.

Звертаємо увагу на те, що порівняння наведених даних стосовно густини матеріалу шлаку та його насипної щільності дозволяє доволі просто визначити об'єм пор-порожнин у насипному шлаку, як 1 мінус результат ділення величини насипної щільності матеріалу $\rho_{нш}$ на густину його речовини $\rho_{ш}$, тобто частка порового (порожнього) простору в об'ємі насипного шлаку складе:

$$k_n = 1 - \left(\frac{\rho_{нш}}{\rho_{ш}} \right),$$

Визначений таким чином показник k_n характеризує відносний об'єм порожнин у відсипаному шлаку (в частках одиниці або в процентах). Наприклад, при співвідношенні насипної щільності шлаку та густини матеріалу доменного шлаку в охолодженому стані, що наведені вище, частка порового простору у насипному шлаку складе

$$k_n = 1 - \left(\frac{\rho_{нш}}{\rho_{ш}} \right) = 1 - \frac{1400}{2850} = 1 - 0,491 = 0,509 \text{ або приблизно } 51 \% \pm 9 \%$$

Для шлакового щебеню ця величина за даними [2, 6], складає 0,46±10% або 46%±10%. тобто частка пористого простору у насипному шлаку знаходиться, приблизно, в межах від 0,4 до 0,55 (40...55%). Отже саме така частка в загальному об'ємі насипного шлаку може заповнюватися водою і контактувати з матеріалом шлаку, обумовлюючи емісією забруднюючих речовин, включаючи важкі метали, у стічну воду.

В подальшому аналізі для наочності та враховуючи те, що насипний шлак з часом ущільнюється, будемо орієнтуватися на мінімальний об'єм пір в 40% від насипного масового обсягу шлаку, тобто $k_n = 0,4$. Отже, вода, що випаде на одиницю горизонтальної поверхні шлакового відвалу (S_1) контактуватиме з масивом матеріалу шлаку, що складе $1 - k_n = 1 - 0,4 = 0,6$ або 60% від об'єму вертикального

стовпа шлаку h_i , указанного одиничного перетину, сума яких складатиме повний об'єм відвалу (рис. 3).

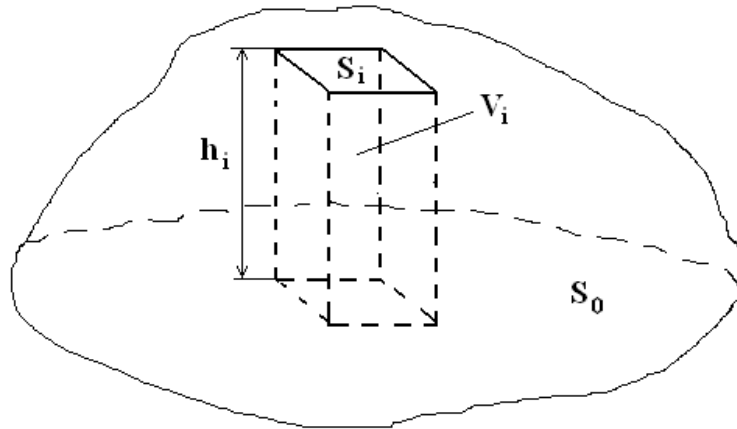


Рис. 3. Модель масиву шлаку для визначення його об'єму в насипу

В загальному випадку товщина насипного шлаку у відвалі може змінюватися залежно від рельєфності поверхні, тому змінюватимуться й величини h_i , м. В такому разі, об'єм насипного шлаку, що міститься у згаданому одиничному стовпі перетином $S_1=1 \text{ м}^2$, складе:

$$V_i = h_i S_1, \text{ м}^3. \quad (1)$$

а об'єм пористого простору в ньому, куди надходить вода опадів і де шлак контактуватиме з нею складе:

$$V_{\text{п}} = k_{\text{п}} h_i S_1, \text{ м}^3. \quad (2)$$

Нехай відвал опиниться під впливом опадів інтенсивністю w , мм. В такому разі об'єм води, що потрапить в пористий простір виділеного одиничного стовпа шлаку складе:

$$V_{\text{wi}} = 10^3 w S_1, \text{ м}^3. \quad (3)$$

Припустимо, що води вистачить для заповнення усіх пір-порожнин у вказаному стовпі. В такому разі можна прирівняти вираз (3) до виразу(2)

$$V_{\text{wi}} = 10^3 w S_1 = V_{\text{п}} = k_{\text{п}} h_i S_1.$$

Звідки інтенсивність опадів, достатню для заповнення всіх пір-порожнин стовпа визначимо як

$$w_{\text{м}} = 1000 k_{\text{п}} h_i, \text{ мм}. \quad (4)$$

Нормуємо цей вираз відносно h_i . Отримаємо величину опадів для заповнення водою одиничного стовпа висотою 1м, тобто кубу насипного шлаку $1 \times 1 \times 1$, м, об'ємом 1 м^3 :

$$w_{\text{м1}} = 1000 k_{\text{п}}, \text{ мм}. \quad (5)$$

За цим виразом, зокрема при $k_{\text{п}}=0,4$, опади, що заповняють всі пори в 1 м^3 насипного шлаку, становитимуть $w_{\text{м1}}=400 \text{ мм}$, а об'єм води складе $0,4 \text{ м}^3$ (зазвичай

стільки води з опадами може випасти майже за рік). Проте, в такому разі відбудеться максимальний контакт насипного шлаку (об'ємом $0,6 \text{ м}^3$ за прикладом), що міститься в 1 м^3 відвалу, з водою опадів. Очевидно, такий контакт забезпечить найбільшу можливу емісію забруднювачів зі шлаку у воду за період, який відповідатиме часу повної фільтрації зазначеного об'єму води через шлак. Звісно, це гіпотетичний випадок, якого можна досягти лише в лабораторних умовах із застосуванням певної ємкості, куди в аналогічній пропорції помістити шлак і дистильовану воду. Між тим, при зволоженні насипного шлаку у відвальному масиві навіть, в межах $15 \dots 20\%$, залежно від варіації пористості є ймовірність настання його зволоження, критичного для зсуву [7]. Отже, вже при об'ємі води $0,15 \dots 0,2 \text{ м}^3$ на 1 м^3 насипного шлаку з високою імовірністю матимемо у відвалі зсувонебезпечний пливун.

На практиці, в реальних умовах відвалу чи насипу шлаку, критичне для зсуву зволоження, не кажучи вже про заповнення всіх пір-порожнин у насипному шлаку, не є можливим. Оскільки ж періодичні добові опади у металургійних регіонах, наприклад, у Дніпропетровській області (середньорічні опади – $558,5 \text{ мм}$) рідко перевищують тримісячну норму, тобто $140\text{-}150 \text{ мм}$ [8] тому пропонується запровадити відносний показник, величини опадів у вигляді співвідношення виразів (4) до (5):

$$k_o = w/w_{m1} = w/1000k_{\text{п}} \quad (6)$$

Показник (6) є питомою величиною, що характеризує співвідношення фактичного об'єму води опадів, яка потрапляє в кубометр відсипного шлаку з певним об'ємом пор-порожнин в ньому, яке саме й визначає питомий контакт води з матеріалом шлаку та відповідно питому емісію забруднювачів з кубометру насипного шлаку в стік.

Тепер стосовно всього відвалу, що опиниться під впливом опадів з інтенсивністю w , мм. В такому разі об'єм води опадів, що потрапить на поверхню всього відвалу складе

$$V_w = w S_0, \quad (7)$$

де S_0 – площа горизонтальної основи відвалу (див. рис. 3), тобто площа проекції рельєфної поверхні шлакового відвалу на горизонтальну площість або топологічна площа відвалу на певній території, гектар, сотка (квадратний декаметр) або квадратний метр

Об'єм всього масиву насипного шлаку у відвалі рельєфної форми визначимо як суму об'ємів i -х стовпів шлаку одиночного перетину $S_1 = 1 \text{ м}^2$, що займають топологічну площу відвалу – S_0 :

$$V_{\text{шв}} = \sum V_i = S_0 \sum h_i; \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Відповідно об'єм усіх пір-порожнин у масиві відвалу чи насипу складе

$$V_{\text{пв}} = \sum V_{\text{п}} = k_{\text{п}} S_0 \sum h_i; \quad i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Вираз (9) є алгоритмом визначення об'єму відвалу в ГІС.

Вважатимемо, що вода опадів швидко рівномірно розосередиться по всіх порах-порожнинах масиву шлаку. Тоді з урахуванням запропонованого відносного (питомого) показника опадів (k_o) визначимо загальний об'єм води опадів шлаку у відвалі, що потрапить в пори-порожнини пропорційно відносній інтенсивності опадів:

$$V_{ko} = k_o k_{\pi} S_0 \sum h_i; i = \overline{1, n} \quad (10)$$

або після підставлення в (10) вираз (6), отримаємо

$$V_{ko} = 10^{-3} w S_0 \sum h_i; i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Формула (11) фактично є алгоритмом визначення об'єму води опадів в m^3 , що контактуватиме зі шлаком в масиві відвалу та утворить забруднений стік, а об'єм шлаку в m^3 , що саме і забезпечує емісію забруднювачів у стік, складе:

$$V_{кш} = \sum V_{\pi} = (1 - k_{\pi}) S_0 \sum h_i; i = \overline{1, n}, \quad (12)$$

Таким чином, формалізовано алгоритми встановлення загального об'єму води опадів, що потрапить в пори-порожнини шлаку, складованому у відвалі або відсипаному як ґрунтовий баласт, залежно від впровадженої відносної (питомої) інтенсивності опадів, а також об'єм насипного шлаку, що при контакті з цією водою обумовить емісію забруднювачів у стік.

Висновки. Проаналізовано особливості рельєфу зовнішньої поверхні та об'ємів пористого простору масиву складованих у відвал або відсипаних як ґрунтовий баласт металургійних шлаків, що впливають на обсяги їх контакту та взаємодії з атмосферним повітрям і водою опадів, з урахуванням показників гранулометричного складу і пористого простору в насипному шлаку та зсувонебезпеки.

Показано, що при дистанційному визначенні площі зовнішньої поверхні насипного шлаку, в тому числі й гранульованого, на макрорівні доцільно вважати її складеною або з пів-кульок (для шматків чи гранул шлаку округлої форми), або з правильних пірамідок (для незграбних шматків шлаку), причому незалежно від їх розмірів оцінна межа кратності перевищення площі рельєфної поверхні над геометричною (топологічною) становитиме відповідно або 2, або 1,73 при середньому значенні $1,86 \pm 0,13$.

Формалізовано алгоритми встановлення об'ємів масиву шлаку та води опадів, що потрапить в його пористий простір, утворюючи відвальний стік. При цьому запропоновано показник відносної (питомої) інтенсивності опадів, який характеризує співвідношення фактичного об'єму води опадів, що надходить в кубометр насипного шлаку, з об'ємом пор-порожнин в ньому, та відповідно визначає об'єм шлаку, що забезпечує емісію забруднювачів у стік під час контакту води з матеріалом шлаку.

Урахування отриманих результатів стосовно площ контакту зовнішніх поверхонь та об'ємів пористого простору масиву насипних металургійних шлаків дозволить підвищити достовірність оцінювання емісії забруднювачів в атмосферне повітря і стічну воду та ступеня екологічної небезпеки шлаку для довкілля,

що пропонується реалізувати в спеціалізованій ГІС контролю і управління металургійними шлаковими відходами.

Перелік посилань

1. Bondar, O., Ryzhenko, N., & Saliy, I. (2020). Storage of metallurgical enterprises slags: environmental impact assessment and environmentally friendly management. *Ecological Sciences*, 3(30), 83–91.
<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.14>
2. Kolesnik, V., Buchavyi, Y., & Liasov, K. (2021). Systematization and selection of ecologically significant characteristics and indicators of metallurgical slags to the knowledge base of specialized GIS. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 64, 122–137.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.122>
3. Спільник, Н. (2015). *Негативний вплив шлаків на навколишнє середовище*. Education and Science.
4. Макарова, В. (2012). *Вплив шлакових відвалів на стан навколишнього природного середовища Дніпропетровського району*. Education and Science.
5. Крюковська, Л. І. (2019). *Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків* (дис. канд. техн. наук). Національний авіаційний університет.
6. Крюковська, Л., & Скорченко, В. (2004). Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва. *Проблема утилізації відходів: праці міжнародної науково-технічної конференції* (с. 116). Знання.
7. Kovrov, O., Kolesnyk, V., & Buchavyi, Y. (2020). The issue of increasing the efficiency of mining on sloping layers. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 61, 66–77.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.066>
8. Kovrov, O., Kolesnik, V., & Buchavyi, Y. (2018). Evaluation of the influence of climatic and geomorphological factors on landslides development. *Environmental safety and natural resources*, 25(1), 52–63.
<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2018.1.52-63>

ABSTRACT

Purpose. Determination of contact areas of the outer surfaces of the metallurgical slag, as well as the volume of porous space in its array, necessary for the reliable evaluation of the emission of ecologically hazardous substances from slag into the atmospheric air and sewage with specialized GIS.

Methodology. The research methodology included the scientific substantiation of algorithms for the assessment of contact areas or volumes of porous slag space with the detail of its relief at the macro level, sufficient to determine the emission of environmentally hazardous pollutants both from the outer surface of the bulk slag into the atmosphere and from its massif.

Findings. The peculiarities of the relief of the outer surface and the volume of the porous space of the array are assembled in dump or poured as soil ballast of metallurgical slag, which affect the volume of their contact and interaction with atmospheric air and precipitation, taking into account the granulometric and porosity. landslide. The frequency of excess of the relief surface of the slag over its geometric (topological) surface is estimated. The algorithms for the installation of the volumes of the array of slag and the water of precipitation, which will fall into its porous space, forming a runoff, formalize.

Originality. It is determined that in the remote determination of the area of the outer surface of the bulk slag, including granular, it is advisable to consider it a compound or half-rures (for pieces or

granules of rounded shape), or from the correct pyramids (for clumsy pieces of slag) on the macro level, and from the right pyramid (for clumsy pieces Regardless of their size, the estimated limit of the multiplicity of excess area of the relief surface over the geometric (topological) will be respectively either 2 or 1.73 at an average value of 1.86 ± 0.13 . To determine the volumes of the slag and water of precipitation, which falls into its porous space, forming a blade run It is a pole-cavity in it, and accordingly determines the volume of slag, which ensures the emission of pollutants into the drain during the contact of water with the material of the slag.

Practical value. Taking into account the results of contact areas of external surfaces and volumes of porous space of array of bulk metallurgical slag will increase the accuracy of evaluation.

Keywords: *environmental danger of metallurgical slag; contact surfaces of slag with atmosphere and water of precipitation; the area of the relief surface of the bulk slag; Porosity of the array of slag.*