

УДК 622.807: 622.504

© В.Ю. Тищук, О.В. Плотников

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ПИЛОУТВОРЕННЯ І ПИЛОПОДАВЛЕННЯ НА ШЛАКОВИХ ВІДВАЛАХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Шлакові відвали є джерелом шкідливого впливу на повітря робочих зон, атмосферу і навколишнє середовище. Встановлено геологічні фактори ерозії поверхні шлакових відвалів. Генез пилу на шлакових відвалах відбувається під впливом атмосферної вологи, кисню, вуглекислоти, перепаду температур на поверхні відвалів. Розроблено засоби закріплення пилу на поверхні відвалів.

Шлакових отвалов являються источником вредного воздействия на воздух рабочих зон и окружающую среду. Установлены геологические факторы эрозии поверхности шлаковых отвалов. Генезис пыли на шлаковых породах происходит под воздействием атмосферной влаги, кислорода, углекислоты, перепада температуры на поверхности отвалов. Разработаны средства закрепления поверхностей отвалов.

Slag dumps are a source of harmful effects on the environment. Installed geological factors erosion surface slag dumps. Genesis of dust from the slag takes place under the influence of atmospheric moisture, oxygen, carbon dioxide, temperature difference on the surface dumps. Develop tools fixing surfaces dumps.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.

Одними із основних видів відходів на металургійних підприємствах при виробництві чавуну та сталі є шлаки, які в подальшому складаються у відвали, що займають сотні гектар родючої землі. Поверхні шлакових відвалів, складені твердими фракціями з розмірами, в середньому, 5-20 мм і більше. Через певний час вони руйнуються і стають інтенсивним джерелом пиловиділення, що призводить до забруднення повітря робочих зон підприємств, а також атмосферного повітря, водяного середовища та ґрунту [1;2;3]. Попередити пиловиділення з відвалів можна шляхом закріплення їх поверхонь пилозв'язуючими розчинами. [4;5;6].

Проте, існуючі технології закріплення пильних поверхонь не можуть на тривалий термін забезпечити ефективне попередження пиловиділення з відвалів особливо після інтенсивних опадів у вигляді дощу, що приводить до руйнування захисного екрану на поверхнях. Тому підвищення ефективності захисту повітря робочих зон та навколишнього середовища від пилу з відвалів на основі розробки науково обґрунтованих ефективних засобів пилозв'язування є важливою і актуальною науковою проблемою. Розв'язання цієї проблеми дозволить захистити повітря робочих зон підприємств від забруднення шкідливими викидами, знизити ризик професійних захворювань органів дихання у працівників, запобігти виникненню аварійних ситуацій унаслідок погіршення видимості на відвалах, а також захистити навколишнє середовище від забруднення пилом.

Вирішення цієї проблеми пов'язано з виконанням державних і галузевих науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в частині покращення умов праці і виробничого середовища та збереження навколишнього природного середовища.

Постановка завдання.

В зв'язку з викладеним метою роботи є визначення основних факторів руйнування крупних часток шлаку і перехід їх у пиловидний стан, а також розробка засобів попередження здійснення їх в атмосферу.

У відповідності з метою в роботі вирішувалися наступні завдання.

1. Визначити фактори генезу, які призводять до руйнування крупних фракцій шлаків.

2. Встановити вплив шлакових відвалів на повітря робочих зон та атмосферне повітря.

3. Розробити засоби попередження пиловиділення з поверхонь шлакових відвалів.

Викладення матеріалу та результати.

Встановимо механізм генезу утворення пиловидних фракцій з крупних фракцій шлаку. Основними факторами генезу утворення пилу, є вивітрювання порід. Вивітрювання гірських порід це процеси фізичного руйнування і хімічного розкладання гірських порід та мінералів, що викликаються дією на них сонячного тепла, атмосферних опадів, повітря та живих організмів. В залежності від факторів дії на породу розрізняють три види вивітрювання: фізичне, хімічне та біологічне. Всі вони взаємопов'язані між собою і протікають одночасно.

Фізичне вивітрювання - це процес механічного руйнування гірських порід без зміни хімічного складу. Цей процес протікає під впливом багатьох факторів, найважливішими з яких є такі: різке коливання температури - термічне вивітрювання; дія замерзлої води - морозне вивітрювання; зволоження порід дощовими водами; дія фізичних електричних розрядів. Різкі коливальні дії температури (добові та сезонні) призводять до утворення дрібних тріщин в породі і до розтріскування їх. Нерівномірне надходження тепла в різний час доби і року сприяє неоднакового нагрівання і охолодження. Це залежить від коефіцієнта об'ємного розширення мінералів. Верхні шари у порід нагріваються швидше і породи розширюються. Внутрішні нагріваються повільніше і остигають теж повільніше. Однією з причин утворення тріщин у породі є періодичне зволоження дощами. При неодноразовому змочуванні і висиханні порід сили зчеплення частинок зменшуються і порода розтріскується. Швидше розтріскуються і розпадаються грубозернисті породи і повільніше – дрібнозернисті. Фізичне вивітрювання прискорюється при наявності води в тріщинах порід. При замерзанні вода збільшується в об'ємі і тисне з силою  $890 \text{ кг на см}^2$  (89 МПа). У фізичному вивітрюванні беруть участь коріння рослин, які проникають в тріщини, розширюють їх і руйнують.

Осадкові породи руйнуються з більшою швидкістю, ніж магматичні і метаморфічні. При цьому слід відмітити, що шлаки в великій мірі відносяться до осадкових порід.

При фізичному вивітрюванні не змінюється хімічний склад, а змінюється його фізичний стан. Фізичне вивітрювання готує умови для хімічного вивітрювання.

Хімічне вивітрювання відбувається одночасно з іншими видами, викликає суттєві зміни мінералогічного і хімічного складів. Головними факторами (агентами) є вода, вільний кисень, вуглекислий газ і органічні кислоти. Вода,

будучи хімічним діячем дисоціює на  $H^+$  і  $OH^-$ . Ця дисоціація викликає активність води і руйнування гірської породи. Якщо у водному розчині перебувають вуглекислий газ і органічні кислоти, то хімічне вивітрювання посилюється. Процеси хімічного вивітрювання зводяться до основних хімічних реакцій: окиснення, гідратація, розчинення, гідроліз. При окисненні і гідратації відбувається руйнування і перебудова кристалічної решітки, утворюється нова, відмінна від початкової.

Розчинення відбувається під впливом води в шлаках. Гідроліз - заміщення катіонів у кристалічній решітці іонами водню диссоційованої води і вносять ці катіони. Гідролізу схильні силікати і алюмосилікати. Гідроліз призводить до руйнування кристалічної решітки і заміні її абсолютно новою. Гідроліз у присутності води і вуглекислого газу викликає в породі і мінералах розпадання на складові частини, в процесі чого утворюються нові сполуки:

При біологічному вивітрюванні порода починає руйнуватися з перших поселенців – це бактерії, мікроводорості, мохи, та ін. Їх виділення руйнують породу і збагачують її органічними кислотами і залишками органічної речовини. В результаті розкладання залишків і органічних кислот посилюється хімічне вивітрювання. Після біологічного вивітрювання можуть поселятися вищі рослини, які проникаючи кореневою системою в тріщини породи захоплюють з них елементи живлення. З іншого боку, вищі рослини виділяючи кисень і вуглекислий газ більш діяльно руйнують гірську породу. Вищим рослинам належить важлива роль у біологічному круговороті речовин. Сутність цього кругообігу полягає в тому, що вищі рослини, витягуючи хімічні елементи у вигляді харчування концентрують їх у своєму тілі, оберігаючи їх тим самим від вимивання, а відмираючи вищі рослини, збагачують поверхневий шар землі рослинними залишками, які розкладаючись вивільняють елементи живлення для інших поколінь .

Біологічне вивітрювання є провідним фактором у перетворенні гірської породи в ґрунт. Тому вивітрювання вважається першим етапом ґрунтоутворення.

Розглянемо фактори генезу утворення пилу зі шлаків, що відбувається в результаті руйнування крупних фракцій шлаків. Результати досліджень показали, що більшість мінералів, утворених в результаті охолодження і кристалізації рідкого конвертерного шлаку в гіпергенних умовах відвалу є нестійкими сполуками. Під впливом атмосферної вологи, кисню і вуглекислоти первинні високотемпературні мінерали і металургійне скло перетворюються в оксиди і гідроксиди заліза, карбонати, гідрокарбонати, глинисті мінерали, опал і халцедон. Новоутворені мінерали несуть ознаки кристалізації в умовах, аналогічних умовам природної кори вивітрювання.

Корольки металу, вюстит, магнетит і гематит внаслідок дії атмосферних агентів поступово перетворюються у пухкі землясті агрегати гідрогематиту, лепідокрокіту, гетиту (рис. 1).

Гетит і лепідокрокіт спочатку з'являються на поверхні корольків, а потім повністю заміщують металеве залізо. Натічні агрегати гіпергенних мінералів мають зональну будову. Псевдоморфози по кулястим виділенням металевого заліза складені однорідною дрібнозернистою масою гетиту. В них деякий час

зберігаються голки когеніту, більш стійкого до дії гіпергенних агентів, ніж металеве залізо, з яким він утворює високотемпературний парагенезис. Гіпергенний гематит утворюється за рахунок окислення магнетиту і феритів кальцію. Він формує поверхневі кірки, заміщує магнетит по тріщинкам окремоті. Значна частина магнетиту у складі шлаку повністю мартитизована. У скупченнях видовжених кристалів фериту кальцію виявлені мікроскопічні агрегати лускуватих виділень вторинного гематиту. Гіпергенне заміщення фериту кальцію гематитом супроводжується вивільненням кальцію і утворенням гідратованого вапна (портландиту), взаємодія якого з вуглекислим газом приводить до кристалізації кальциту за реакцією (1):

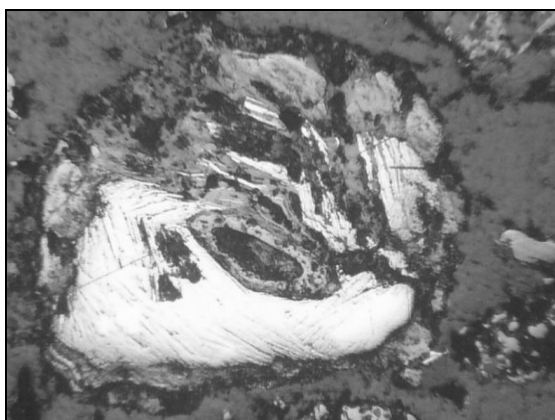
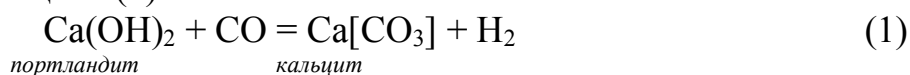


Рис.1. Заміщення деформованого королька металеве залізо (біле) гідроксидами заліза (сіре різних відтінків), у вигляді землистого агрегату і натічних форм. Сталеплавильний шлак. Полірований шліф,  $\times 170$ .

Силікати і оксиди магнію, кальцію, металургійне скло також заміщуються гіпергенними мінералами, гідратуються і розчиняються. При взаємодії суспензії гідратованого вапна (портландиту) з вуглекислим газом повітря утворюються карбонати. Мінерали групи  $\text{SiO}_2$  (кварц, тридиміт, кристобаліт) подрібнюються внаслідок поліморфних перетворень і перепаду температури, маршалітизуються заміщуються вторинним опалом і халцедоном (рис. 2).

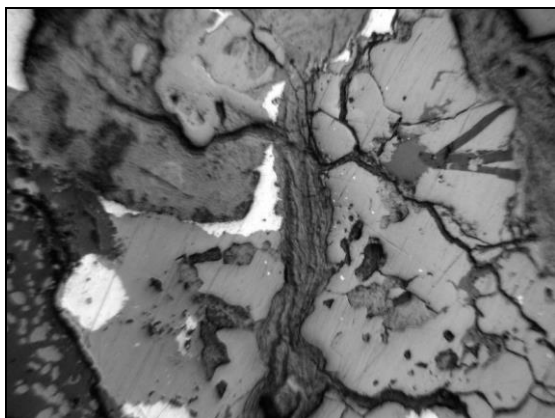
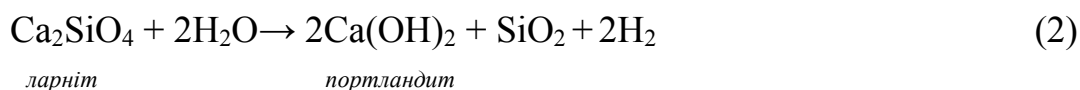


Рис. 2. Розтріскане зерно кварцу (сіре) і металеве залізо (біле) у складі гіпергенно зміненого сталеплавильного шлаку. Полірований шліф,  $\times 140$ .

Найбільш поширений у складі металургійного шлаку ларніт розчиняється у дощовій воді з утворенням гелю  $\text{SiO}_2$  і розчину  $\text{CaO}$  за реакцією :



Зневоднення гелю приводить до утворення опалу, а в результаті взаємодії розчину вапна і вуглекислого газу кристалізується кальцит.

Олівін (фаяліт), діопсид і інші силікати, силікатне і залізо-силікатне металургійне скло також нестійкі в умовах шлакових відвалів. В продуктах їх вивітрювання встановлені серпентин, каолінит, монтморилоніт, оксиди і гідроксиди заліза і мангану, кальцит (рис. 3).

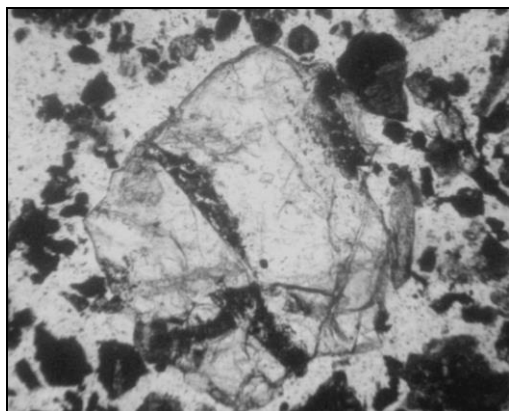


Рис. 3. Кристал фаяліту (в центрі) з прожилками серпентину у супроводі пілоподібних включень магнетиту (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні,  $\times 180$ .

Про наявність даних мінералів свідчать мінералого-петрографічні дослідження прозорих шліфів, а також результати рентгеноструктурного і диференційного термічного аналізів

Портландит і каолінит утворюють пухку пілоподібну масу, здатну в сухому стані переноситися з шлакових відвалів повітрям, а у вологому, у вигляді суспензій, – водними потоками. Карбонати легко розчиняються навіть слабкими розчинами кислот і мігрують до поверхневих і ґрунтових вод. При висиханні розчинів на поверхні шлакових часток виникають кірки, плівки і вицвіти гідрокарбонатів, портландиту, гіпсу, глинистих і інших вторинних мінералів. Це значно збільшує вміст дисперсних компонентів і приводить до забруднення атмосфери шлаковим пилом. Виконані авторами мікрозондові дослідження шлакоутворюючих мінералів, у тому числі розчинних і нестійких, показали постійну присутність у їх складі важких металів і інших хімічних елементів (табл.1).

У вивітрених шлаках з тонкими прожилками халцедону, карбонатів і інших вторинних мінералів ферити кальцію набувають каламутно-сірого забарвлення. Це явище пов'язане з заміщенням їх гіпергенним лимонітом. Загальний вміст заліза у феритах кальцію незначний і складає 28,3% (табл.2).

Проте, внаслідок відсутності магнітних властивостей вони потрапляють до відходів збагачення. Вилучення даних мінералів в процесі переробки може істотно збільшити видобування заліза з шлаків металургійного виробництва.

Використовувана на металургійних підприємствах технічна і шламова вода, атмосферні опади і інша волога, активно взаємодіє з шлаками. Тому при тривалому зберіганні шлаків у відвалах вказані мінерали дисоціюють, забруднюючи ґрунтові і річкові води продуктами розчинення.

Мікроскопічне вивчення прозорих і полірованих шліфів свідчить, що опал і халцедон утворюють тонкі плівки білого і блакитно-білого кольору на

поверхні часток, в газових пустотах і тріщинах шлаку (рис. 4.). Гіпергенні прожилки, кірки і плівки мінералів кремнезему, гетиту і карбонатів через деякий час цементують шлак. Він знову зміцнюється, особливо у поверхневому шарі відвалу потужністю 0,2-0,4 м. Подібні зміни агрегатного стану приводять до формування на поверхні шлакових часток своєрідної захисної мембрани.

Таблиця 1

Хімічний склад силікатів кальцію за даними мікрозондового аналізу, мас. %

CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc	S	Co
Мервініт Ca <sub>3</sub> Mg(SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>												
51,2 3	36,4 2	2,88	0,90	2,83	0,67	-	0,05	0,47	2,59	-	1,24	-
Ларніт β-Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>												
64,1	31,3 7	0,43	0,37	0,78	0,80	-	0,05	1,23	0,45	-	0,48	-
Хатрюрит Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>												
65,7 1	23,4	1,01	0,46	1,17	1,46	0,47	-	0,92	0,64	4,01	0,50	0,24
Силікоалюмінат кальцію* CaMn[AlSiO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub>												
10,5 7	54,0 1	2,33	5,05	23,43	0,72	0,27-	0,74	-	1,78	-	1,60	-

Таблиця 2

Хімічний склад браунмілериту за даними мікрозондового аналізу, мас. %

CaO	FeO	MgO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc	S	Pb
43,5	28,3	1,26	1,46	21,85	2,31	0,25	0,76	0,34	0,9	0,2	0,4

Після її утворення розчинення первинних мінералів шлаку і спровокована ним міграція хімічних елементів і сполук у навколишнє середовище уповільнюється, а шкідливий вплив металургійних шлаків на сучасне геологічне середовище зменшується, за умови відсутності техногенного втручання у вигляді від-

критих гірничих робіт, що включає подрібнення шлаків, їх транспортування, навантаження і розвантаження.

Отже, під час зберігання шлаку у відвалі його мінеральні компоненти відіграють роль потужного джерела постачання різноманітних хімічних елементів у навколишнє середовище. На відстані до 4 км від шлакових відвалів в ґрунтах і ґрунтових водах спостерігається суттєве накопичення заліза, мангану, хрому, нікелю, кобальту і інших металів. За межами вказаної території їх вміст зменшується і відповідає фоновому (до речі досить високому) рівню для Криворізького басейну [2].



Рис. 4. Прожилок вторинного халце-донну (біле) у складі гіпергенно зміненого шлаку. Первинні мінерали шлаків представлені таблитчастими кристалами фериту кальцію (темно-сіре) з проростаннями магнетиту (чорне), силікатами кальцію (світло-сіре). Прозорий шліф, ніколі  $\parallel$ ,  $\times 40$ .

Згідно поставлених завдань проведені дослідження показали, що запиленість повітря на шлакових відвалах Кривбасу при швидкості вітру 3 – 5 м/с становлять 8 – 20 мг/м<sup>3</sup>, що в 4 – 10 разів перевищує гранично-допустиму концентрацію для повітря робочих зон.

Розрахунки які виконані по «ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», який є основним нормативним документом, що адаптований до законодавства України, свідчать, що середньодобова концентрація пилу, яка становить 0,15 мг/м<sup>3</sup>, досягається на відстані більшій 1000 м від відвалу, при розмірі санітарно захисної зони – 500 м. В ряді випадків концентрація пилу в південно-східному напрямку на відстані близько 1500 м від шлакових відвалів досягає 2-4 мг/м<sup>3</sup>. Наведені результати, показали, що шлакові відвали є джерелом інтенсивного забруднення пилом повітря робочих зон підприємств та атмосферного повітря, що потребує розробки спеціальним засобів боротьби з пилом на поверхнях шлакових відвалів металургійних підприємств.

Авторами розроблено спосіб агротехнічного закріплення пилових поверхонь відвалів [7]. Згідно цього способу, поверхні піддаються разовій обробці природними органічними з'єднаннями, наприклад, лігносульфатами. Результати досліджень показали, що породи на шлакових відвалах негативно впливають на певні розчини, що приводить до коагуляції речовин і нездатності їх утворення на поверхнях пилозахисні покриття. Після обробки пилових поверхонь вказаним розчином на поверхнях утворюється суцільне механічно міцне покриття, яке забезпечує запобігання пиловиділення з поверхні на протязі всього наступного періоду існування відвалу. Це обумовлено наступними факторами.

Лігносульфонати включають в себе целюлозу и лігнін. Продукти їх розкладання є тим матеріалом, з якого утворюються гумінові речовини. Згідно з даними Шиффера і Ульріха через 4-7 тижнів починається процес розщеплення целюлози і лігніну [8]. Як наслідок, на пиловій поверхні через 1—2 місяці, після закріплення розчинами, які містять вказані інгредієнти, починається процес утворення гумусу, який огортає пилові частинки порід і тим самим зв'язує їх в укрупнені агрегати. При водяних концентраціях лігносульфонатів 25 % і вище на поверхнях утворюється механічно міцна кірка, яка забезпечує попередження здійснення пилу з відвалів в атмосферне повітря. В результаті, відбувається запобігання або значне зниження пиловиділення з поверхонь після разової їх обробки лігносульфатами.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті виконаних досліджень в даній роботі вперше визначено фактори генезу пилу на поверхнях шлакових відвалів і вказано способи і засоби боротьби з пилом на відвалах. Вирішена актуальна наукова проблема, яка полягає в підвищенні ефективності захисту повітря робочих зон та навколишнього середовища від пилу з відвалів на основі науково обґрунтованого використання природних органічних сполук для закріплення пильних поверхонь. Проведено аналітичні дослідження засобів для закріплення пильних поверхонь, визначено речовини для ефективного закріплення поверхонь.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку та впровадження біотехнології для закріплення пильних поверхонь на шлакових відвалах металургійних підприємств, на основі відходів виробництв харчової промисловості, так як цей напрямок біотехнології є екологічно чистим.

#### Список літератури

1. Тиришкіна С. М. Механізм впливу мінерального складу шлакових відвалів на екологічний стан навколишнього середовища / С. М. Тиришкіна, В. В. Іванченко // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів : 5 Міжнар. наук.-практ. конф., 6–9 жовтня 2009 р. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 206–208.
2. Долгова Т. И. Деградация почвенных систем под воздействием пыления иницируемого предприятиями горнодобывающего комплекса. // Разработка рудных месторождений. - Вып. 82. Кривой Рог.-2003.-С.150-159.
3. Маяков І. Д. Екологічна оцінка стану геологічного середовища / І. Д. Маяков // Нетрадиційні екологічні проблеми Кривбасу : [за ред. І.М.Малахова].Кривий Ріг, 2001. – 60 с.
4. Тыщук В. Ю. Исследование физико-механических параметров защитных покрытий, образующихся на пылящих поверхностях отвалов и шламохранилищ в результате обработки их природными органическими соединениями / В. Ю. Тыщук // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2005. – № 22. – С. 198–207.
5. Тыщук В. Ю. Аналітичні і експериментальні дослідження пилозв'язуючої здатності нової композиції, розробленої на основі відходів олійно-жирових виробництв, для закріплення пильючих поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тыщук, М. Ф. Євдокименко, Л. Д. Єрмак, Е. В. Часова, В. М. Ковальов // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. наук. праць. – Кривий Ріг: ДП «НДІБП», 2006. – Вип. 7. – С. 99–108.
6. Тыщук В. Ю. Дослідження нового засобу для закріплення пильючих поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тыщук, М. Ф. Євдокименко, Ю. Т. Котов // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. на-



- ук. праць. – Кривий Ріг : ДП «НДІБПГ», 2008. – Вип. 10. – С. 182–186.
7. Тищук В. Ю. Агрохімічний спосіб закріплення пилючих поверхонь на гірничорудних підприємствах / В. Ю. Тищук // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : НДІБПГ, 1999. – Вип. 1. – С. 128–133.
8. Возбудская А.Е. Химия почвы. / А.Е.Возбудская – М.: Высшая школа. - 1968. – 427 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 21.04.2015*

УДК 504.058+627.8.059

© Г.В. Гапіч

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СТІЙКОСТІ НИЗОВОГО УКОСУ ГРУНТОВОЇ ДАМБИ НА ОСНОВІ ГІДРОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ**

На основі гідрологічних розрахунків визначений коефіцієнт стійкості низового укосу ґрунтової дамби. Встановлено положення критичної точки зниження коефіцієнту стійкості залежно від надходження до водойми надлишкових об'ємів води дощових (зливових) паводків.

На основании гидрологических расчетов определен коэффициент устойчивости низового откоса грунтовой дамбы. Установлено положение критической точки снижения коэффициента устойчивости в зависимости от поступления в водоем избыточных объемов воды дождевых (ливневых) паводков.

Defined sustainability index lower slope of dirt dam on the basis of hydrological calculations. Subject to receipt of floodwater determined position of the critical point of reducing the stability factor.

**Вступ.** За матеріалами Національної доповіді про стан техногенної природної безпеки в Україні у 2014 році [1] серед прогнозних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій Дніпропетровська область займає одне з перших місць. Особливу екологічну та техногенну небезпеку становлять аварії і відмови у роботі водопідпірних гідротехнічних споруд (ГТС) під час перерозподілу і регулюванні водних потоків. Руйнування ГТС можуть призвести до паводків, повеней, катастрофічних затоплень на площі до 10,8 тис.км<sup>2</sup>, де проживає близько 1057,7 тис. осіб. На думку автора [2] у зону максимально можливого підтоплення паводковими водами можуть потрапити 6 міст і 21 район, в яких розташовані 333 населених пункти та близько 30 сільськогосподарських об'єктів. Підсилюючим фактором стану екологічної безпеки є наявність на території області скотомогильників поблизу 27 населених пунктів. Таким чином забезпечення надійної експлуатації гідротехнічних споруд різного призначення та підвищення рівня екологічної безпеки території в зоні пливу ГТС є актуальною задачею.

**Постановка проблеми.** За даними [1] протягом 2014 року середня річна температура повітря в Дніпропетровській області перевищила кліматичні пока-