

УДК УДК 622.271

І.Л. Гуменик, д-р техн. наук, проф.,  
О.В. Ложніков, канд. техн. наук,  
А.І. Панасенко, канд. техн. наук, старш. наук.  
співроб.

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: gumeniki@nmu.org.ua

## ТЕХНОЛОГІЯ ЦІЛЕСПРЯМОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ВІДВАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧОТЕХНІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

I.L. Gumenyk, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
O.V. Lozhnikov, Cand. Sci. (Tech.),  
A.I. Panasenko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Research  
Fellow

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: gumeniki@nmu.org.ua

## DELIBERATE DUMPING TECHNOLOGY FOR MINING RECLAMATION EFFECTIVENESS IMPROVEMENT

**Мета.** Підвищення ефективності гірничотехнічної рекультивації при відкритій розробці горизонтальних родовищ шляхом обґрунтування технології формування зовнішнього та внутрішнього відвалів з об'єднаною поверхнею, що забезпечить збільшення площі рекультивованих земель для сільськогосподарського використання при відкритій розробці родовищ.

**Методика.** При проведенні дослідження використані теоретичні та експериментальні методи, зокрема, аналіз існуючих способів рекультивації, математичне моделювання формування відвалів.

**Результати.** Встановлена область раціонального застосування розробленого способу формування відвалів з урахуванням отриманих залежностей додаткового збільшення коефіцієнта рекультивації порушених земель від ширини та глибини кар'єрного поля. Коефіцієнт рекультивації максимально збільшується на 6%, а площа, зайнята укосами зовнішнього й внутрішнього відвалів, зменшується на 39%.

Створена технологічна схема відвалоутворення зовнішнього та внутрішнього відвалів, що передбачає зміну поточної висоти третього й четвертого відвальних ярусів і дозволяє зменшувати площу, зайняту їх укосами, без залучення додаткового виймально-навантажувального устаткування. Застосування скоротить об'єми робіт з гірничотехнічної рекультивації.

**Наукова новизна.** Полягає в розробці методики визначення параметрів зовнішнього та внутрішнього відвалів з об'єднаною поверхнею й технологічних схемах відвалоутворення, що передбачають поєднання процесів відвалоутворення та рекультивації на всіх етапах розробки родовища.

**Практична значимість.** Застосування розробленої методики визначення параметрів відвалів з об'єднаною поверхнею та запропонованої технології відвалоутворення на практиці дозволить зменшити площі, зайняті укосами відвалів, що не придатні для сільськогосподарського напряму рекультивації, та об'єми гірничопланувальних робіт при доопрацюванні горизонтального родовища.

**Ключові слова:** *горизонтальне родовище, відвалоутворення, рекультивація, формування об'єднаних відвалів, площа під укосами відвалів, гірничопланувальні роботи*

**Постановка проблеми.** Масштаби порушень землі, викликані сучасними темпами розробки родовищ корисних копалин відкритим способом, суттєво впливають на навколишнє природне середовище. Вагомим негативним впливом від виконання відкритих гірничих робіт зазнають верхні шари літосфери, що трансформуються в нові форми, які практично неможливо відновити до первинного стану.

За останні десятиріччя в Україні відкритою розробкою родовищ корисних копалин порушено більше 160 тис. га. При цьому максимальна концентрація гірничих робіт на один гектар території зареєстрована у Дніпропетровській, Донецькій і Львівській областях [1].

Особливого значення актуальності піднята проблема набуває у зв'язку з тим, що, як правило, гірничі роботи виконуються на землях інтенсивного господарського користування. Крім того, як показує аналіз, в основному, порушуються землі сільськогосподарського призначення, з яких не більше половини можуть бути рекультивовані й повернуті для використання в колишніх цілях. Решта порушених територій рекультивується під інші напрями використання, а в деяких випадках земля залишається під самовідновлення.

Проведений аналіз структури порушених територій дозволив встановити, що однією з основних причин втрати земель сільськогосподарського призначення при рекультивації є території, зайняті укосами зовнішніх та внутрішніх відвалів, а також бортами кар'єрів і траншей.

**Аналіз існуючих наукових досліджень.** Інформація, наведена в літературних та патентних джерелах, присвячених проблемі досліджень, свідчить про те, що існуючі способи рекультивациі дозволяють зменшити площі, які зайняті укосами та бортами, лише шляхом переміщення порід зовнішніх відвалів у вироблений простір кар'єру після доопрацювання покладів корисних копалин. Це супроводжується додатковими витратами на роботи з переєкскваціі відвальних порід [2].

**Невирішені частини загальної проблеми.** Причиною необхідності виконання робіт з переєкскваціі відвальних порід є те, що розглянуті роботи передбачають виконання рекультивациі або на якомусь окремо взятому етапі розробки родовища, або взагалі після відпрацювання покладів родовища.

Виконання рекультивациійних робіт з відривом у часі від розробки родовища унеможливує підвищення ефективності рекультивациійних робіт сільськогосподарського напрямку без додаткових гірничотехнічних робіт, таких як переміщення порід зовнішніх відвалів у вироблений простір кар'єру.

**Постановка завдання.** У зв'язку із встановленими недоліками існуючих способів рекультивациі постає питання актуальності розробки нових способів і технологічних рішень, що поєднують би процеси рекультивациі та розробки родовищ, за рахунок яких підвищиться ефективність рекультивациійних робіт шляхом збільшення площі земель під сільськогосподарський напрям використання.

**Основний матеріал досліджень.** У статті розглядаються буровугільні горизонтальні родовища, а вихідними даними є параметри кар'єру з характерними гірничо-геологічними умовами залягання та технологією розробки, що зазначені нижче.

Розробка технології формування поверхні відвалів, відповідної до вимог сільськогосподарської рекультивациі, ґрунтується на розробленому способі формування зовнішнього та внутрішнього відвалів з об'єднаною поверхнею [2] та методики розрахунку його параметрів [3].

Після детального аналізу існуючих способів рекультивациі, що дозволяють збільшувати площу віднов-

лення сільськогосподарських земель за рахунок переміщення порід зовнішнього відвалу у вироблений простір після доопрацювання родовища, було встановлено, що вдосконалення їх не вважається за можливе. До того ж істотними недоліками відомих способів рекультивациі є великі об'єми переєкскваціійних робіт і витрати, пов'язані із затримкою у часі виконання рекультивациійних робіт.

У зв'язку з цим був розроблений спосіб рекультивациі земель, що дозволяє зменшити площу території, зайнятої під укосами відвалів у період розробки родовища, за рахунок поєднання в собі процесів відвалоутворення та рекультивациі [2].

Ідея даного способу полягає у формуванні зовнішнього та внутрішнього відвалів із об'єднаною поверхнею протягом усіх етапів розробки родовища. Створення об'єднаної поверхні зовнішнього та внутрішнього відвалів здійснюється за рахунок формування: зовнішнього відвалу до верхньої брівки борту кар'єру з боку розрізної траншеї; внутрішнього відвалу впритул до зовнішнього з повним повторенням форми його поверхні.

Формування зовнішнього та внутрішнього відвалів із об'єднаною поверхнею забезпечується розміщенням зовнішнього відвалу паралельно розрізній траншеї, при цьому його висота не повинна перевищувати 50 м, що передбачено вимогами сільськогосподарського напрямку рекультивациі.

Об'єднання поверхонь відвалів реалізується шляхом збільшення висоти внутрішнього відвалу на початкових етапах розробки родовища та її зменшення при доопрацюванні кар'єру за рахунок перерозподілу відвальних порід у межах внутрішнього відвала. У результаті цього перерозподілу поверхня внутрішнього відвалу матиме нахил  $\omega$  до  $1^\circ$ , що відповідає нормам сільськогосподарського напрямку рекультивациі.

Величина кута нахилу поверхні відвалів  $\omega$  може змінюватись за рахунок зміни висоти зовнішнього відвалу  $H_0$ , при цьому повинне забезпечуватися виконання наступної умови: мінімальна висота внутрішнього відвалу  $H_{min}$  повинна перевищувати рівень води в залишковій траншеї після доопрацювання кар'єру (рис. 1).

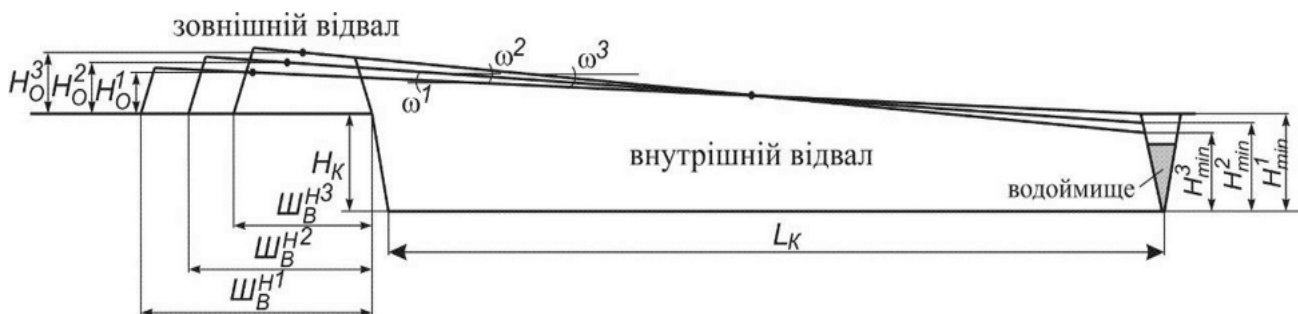


Рис. 1. Схема до встановлення висоти зовнішнього відвалу:  $H_0$  – висота зовнішнього відвалу, м;  $\text{Ш}_B^H$  – ширина зовнішнього відвалу по низу, м;  $L_K$  – довжина кар'єру, м;  $H_{min}$  – мінімальна висота внутрішнього відвалу, м;  $\omega$  – результуючий кут укосу внутрішнього відвалу, град.

Діапазон можливих кутів нахилу поверхні об'єднаного відвалу  $\omega$  для умов розробки буровугільних родовищ з характерними технологічними та гірничо-геологічними параметрами розраховується відповідно до середньої та мінімальної висоти внутрішнього відвалу, град.

$$\omega = \arctg \frac{H_{BH}^{CP} - H_{min}}{\frac{L_K}{2} + H_{BH}^{CP} \cdot ctg \alpha_H - H_{min} \cdot ctg \beta}, \quad (1)$$

де  $H_{BH}^{CP}$  – середня висота внутрішнього відвалу, м;  $H_{min}$  – мінімальна висота внутрішнього відвалу, м;  $L_K$  – довжина кар'єру по низу, м;  $\alpha_H$  – кут неробочого борту кар'єру, град;  $\omega$  – результуючий кут укосу внутрішнього відвалу, град.

Відповідно до умов експлуатації кар'єрів з розробки горизонтальних родовищ з характерними параметрами встановлено, що кут нахилу поверхні об'єднаного відвалу  $\omega$  знаходиться в межах  $0,42 - 0,79^\circ$ .

Наступним етапом досліджень, після розробки способу формування відвалів із загальною поверхнею, є встановлення області його раціонального застосування. За основні критерії оцінки запропонованого способу прийняті показники, що характеризують додаткову площу рекультивованих земель під сільськогосподарський напрям використання  $\Delta S_B$  і додатковий коефіцієнт рекультивації землі  $\Delta K_B$ . У даному випадку коефіцієнт рекультивації визначається як відношення площі землі, рекультивованої під сільськогосподарський напрям використання, до площі землі, порушеної гірничим відвалом і зовнішнім відвалом, га.

$$\Delta S_B = S'_B - S_B, \quad (2)$$

де  $S_B$  і  $S'_B$  – площі земель, рекультивовані під сільськогосподарський напрям використання при традиційному та запропонованому способах формування відвалів відповідно, га.

$$\Delta K_B = K'_B - K_B, \quad (3)$$

де  $K_B$  і  $K'_B$  – коефіцієнти рекультивації земель при традиційному та запропонованому способах формування відвалів відповідно.

Основні параметри кар'єрного поля, що впливають на площу рекультивованих земель, – це його глибина, довжина та ширина. За вихідні дані розрахунку прийнятий буровугільний кар'єр з гірничо-геологічними й технологічними параметрами в наступних діапазонах: глибина кар'єру 40–120 м; ширина – 1200–2000 м; довжина – 3000–6000 м. Під час проведення досліджень встановлено, що довжина кар'єру має незначний вплив на додатковий коефіцієнт рекультивації (не більше 1%), тому в подальших розрахунках прийнято її середнє значення 4500 м.

Залежності, отримані в ході виконання досліджень, наведені на рис. 2 і 3.

З аналізу показників, що характеризують додаткову площу рекультивованих земель під сільськогосподарський напрям та додатковий коефіцієнт рекультивації (рис. 2 і 3) видно, що максимальне значення показника  $\Delta K_B$  при формуванні відвалів з об'єднаною поверхнею досягається при глибині кар'єрного поля 70–90 м і його ширині – 1500 м, та складає 6%. При подальшому збільшенні ширини кар'єрного поля до 2000 м ефективність застосування способу формування відвалів з об'єднаною поверхнею зменшується. У даному випадку показник  $\Delta K_B$  збільшується поступово разом зі збільшенням глибини кар'єру. Це пояснюється пропорційним збільшенням показника  $\Delta S_B$  при збільшенні глибини кар'єру  $H_K$ .

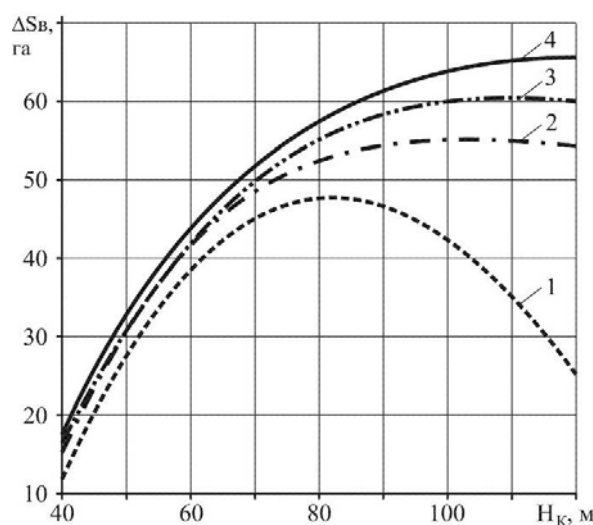


Рис. 2. Залежність додаткової площі рекультивованих земель під сільськогосподарський напрям ( $\Delta S_B$ ) від глибини кар'єру ( $H_K$ ): 1 – ширина кар'єру 1200 м; 2 – 1500 м; 3 – 1800 м; 4 – 2000 м

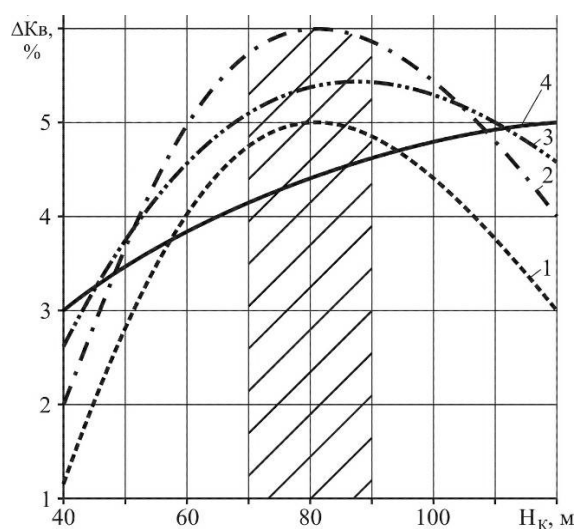


Рис. 3. Залежність додаткового коефіцієнта рекультивації ( $\Delta K_B$ ) від глибини кар'єру ( $H_K$ ): 1 – ширина кар'єру 1200 м; 2 – 1500 м; 3 – 1800 м; 4 – 2000 м

Отримані залежності дозволили обґрунтувати раціональну область застосування способу формування зовнішнього та внутрішнього відвалів з об'єднаною поверхнею. Так, найбільша ефективність досягається при глибині кар'єру 80 м, ширині 1500 м та довжині 4500 м. Відповідно до цих параметрів розроблена технологічна схема формування відвалів з об'єднаною поверхнею.

Як показує досвід розробки горизонтальних буровугільних родовищ, у більшості випадків, при експлуатації кар'єрів застосовується комбінована система розробки з комбінацією транспортно-відвальної системи на основному розкривному уступі й транспортної системи – на передовому. Основна умова використання цієї системи розробки полягає в тому, щоб ширина розкривних і відваль-

них заходок була однаковою у період експлуатації кар'єру.

Оскільки швидкість посування фронту відвальних робіт на першому й другому відвальних ярусах дорівнює швидкості посування фронтів розкривних робіт і не може бути змінена через те, що в технологічній схемі використовується консольний відвалоутворювач, який знаходиться на основному розкривному уступі та відсіпає породу до внутрішнього відвалу, формування поверхні внутрішнього відвалу з нахилом  $\omega$  може бути здійснене за рахунок зміни висоти третього й четвертого відвальних ярусів, які формуються другим відвалоутворювачем, що розташований на третьому ярусі внутрішнього відвалу. Зміна висоти третього та четвертого відвальних ярусів наведена на рис. 4.

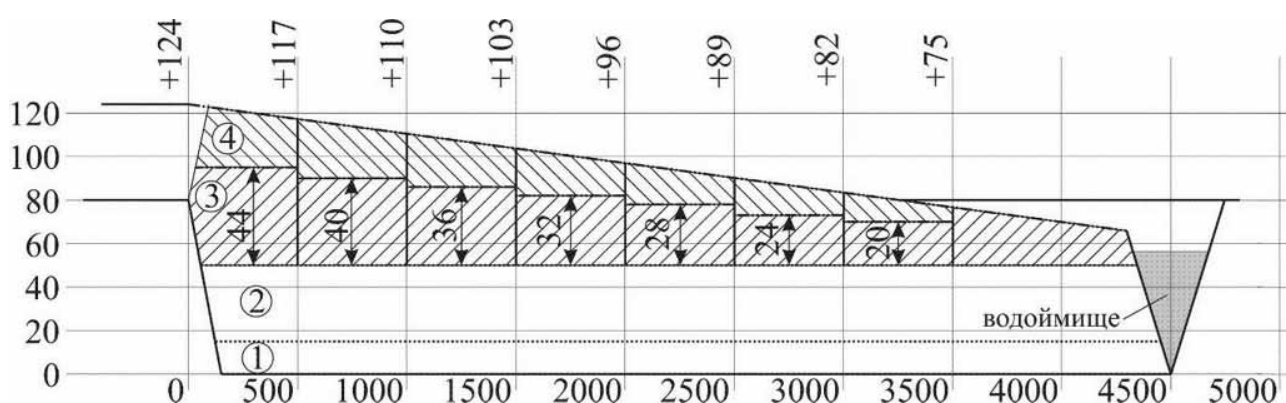


Рис. 4. Схема розташування відвальних ярусів при формуванні відвалів з об'єднаною поверхнею (вертикальний: горизонтальний масштаб = 10:1): 1 – перший відвальний ярус; 2 – другий; 3 – третій; 4 – четвертий

Забезпечення кута нахилу поверхні внутрішнього відвалу  $\omega$ , що в умовах розробки буровугільного родовища зі встановленими параметрами дорівнює  $0,79^\circ$ , досягається шляхом зменшення висоти третього й четвертого відвальних ярусів на 7 м при посуванні фронту гірничих робіт на 500 м. Така вимога реалізується шляхом періодичного зменшення висоти третього відвального ярусу на 4 м і поступового зменшення висоти четвертого відвального ярусу на 7 м при посуванні фронтів гірничих та відвальних робіт на 500 м.

Зменшення висоти третього та четвертого відвальних ярусів забезпечується зміною схеми роботи консольного відвалоутворювача, розташованого на третьому ярусі внутрішнього відвалу.

Для зменшення висоти третього відвального ярусу консольний відвалоутворювач при посуванні відвального фронту на 500 м формує нижньою відсіпкою наступну відвальну заходку з висотою, нижчою за попередню на 4 м, за рахунок збільшення ширини відвальної заходки, після цього він переміщується на її поверхню та починає формувати нову заходку висотою, що дорівнює попередній заходці. Висота четвертого ярусу зменшується поступово за

рахунок збільшення ширини кожної наступної відвальної заходки, за умови, що площа її перерізу  $S_{34}$  залишається незмінною.

Відповідно до зазначеної вимоги, ширина відвальної заходки четвертого ярусу  $A_{O4}$  дорівнює відношенню площі перетину  $S_{34}$  до висоти відвальної заходки  $H_{O4}$ , м

$$A_{O4} = \frac{S_{34}}{H_{O4}}, \quad (4)$$

де  $S_{34}$  – площа поперечного перерізу відвальної заходки четвертого ярусу,  $m^2$ ;  $H_{O4}$  – висота відвальної заходки четвертого ярусу, м.

Згідно з виразом (4) встановлено залежності ширини відвальної заходки  $A_{O4}$  від висоти четвертого відвального ярусу (рис. 5) для буровугільного кар'єру з визначеними параметрами. Відповідно до приведених залежностей розраховані висоти кожної наступної відвальної заходки четвертого ярусу внутрішнього відвалу.

Виконані розрахунки показали, що для встановлених параметрів кар'єру площа поперечного пе-

перізу відвальної заходки четвертого ярусу складає  $1275 \text{ м}^2$  (рис. 5). Виходячи з цього об'єму, встановлено, що для забезпечення нахилу поверхні внутрішнього відвалу у  $0,79^\circ$ , при посуванні фронту відвальних робіт, кожну наступну заходку консольного відвалоутворювача необхідно збільшувати на 1 м.

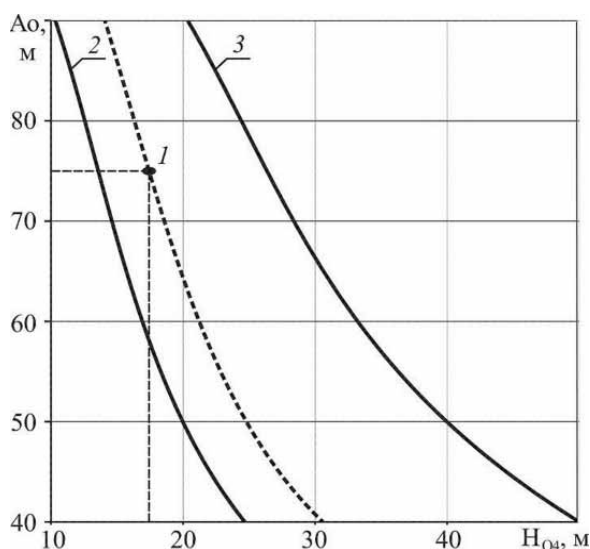


Рис. 5. Залежність ширини відвальної заходки ( $A_0$ ) від висоти четвертого відвального ярусу ( $H_{04}$ ): 1 – параметри відвальної заходки при традиційному способі формування відвалів; 2 – для  $S_{34} = 1000 \text{ м}^2$ ; 3 – для  $S_{34} = 2000 \text{ м}^2$

Таке збільшення, при посуванні відвального фронту четвертого ярусу на 500 м, дозволить зменшити його висоту на 7 м. При цьому ширина його відвальної заходки збільшиться на 11 м. Після відсипки заходки відвалоутворювач переміщується по поверхні третього ярусу на 4 м вниз, зменшує ширину наступної відвальної заходки на 11 м, тим самим збільшуючи її висоту на 7 м, і цикл повторюється. У результаті відпрацювання кар'єру поверхня відвалів буде об'єднаною та матиме заданий нахил.

#### Висновки.

Згідно з результатами проведених досліджень, застосування розробленої технології в умовах відробки буровугільного кар'єру зі встановленими параметрами дозволить збільшити площу рекультивованих земель сільськогосподарського напряму використання на 9% за рахунок зменшення площі під укосами відвалів на 39%. Розрахункові витрати на виконання рекультиваційних робіт при запропонованому способі формування відвалів зменшаться на 31% за рахунок зменшення об'ємів робіт із планування поверхні відвалів на 68% [4].

Результати досліджень використані ДП „Інститут „УкрНДІпроект“ при корегуванні проекту розробки Костянтинівського буровугільного розрізу з метою підвищення ефективності виробництва рекультиваційних робіт сільськогосподарського напряму.

Очікуване зменшення вартості рекультиваційних робіт 1 га землі від впровадження цих технологій – до 35%.

**Перспективи подальшого розвитку досліджень.** Подальші дослідження із зазначеної теми мають виконуватись у двох основних напрямках: встановлення можливості застосування розробленого способу на похилих і крутоспадних родовищах; розробка технологічних схем відвалоутворення при розробці родовищ марганцевої руди та рідкоземельних металів.

#### Список літератури / References

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. – К., 2006. – 547 с.

“National report about natural environment state in Ukraine”, (2006), Ministry of natural environment guard of Ukraine, Kyiv.

2. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений: монография / Г.Г. Пивняк, И.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.И. Панасенко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 568 с.

Pivnyak, G.G., Gumenik, I.L., Drebenshtedt, S., Panasenko, A.I. (2011), *Nauchnye osnovy ratsyonal'nogo prirodopolzovaniya pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy* [Scientific Bases Rational Use of Natural Resources during the Open Cast Mining of Deposits], monograph, NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Экология и охрана природы при открытых горных работах / [Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М. и др.] – М.: МГГУ, 2000. – 417 с.

Tomakov, P.I., Kovalenko, V.S., Mikhaylov, A.M. (2000), *Ekologiya i okhrana prirody pri otkrytykh gornykh rabotakh* [Ecology and Conservancy in Open Cast Mining], MGGU, Moscow, Russia.

4. Коваленко В.С. Рекультивация нарушенных земель на карьерах / Коваленко В.С., Штейнцвайг Р.М., Голик Т.В. // Основные требования к рекультивации нарушенных земель. Часть 1. – М.: МГГУ, 2012. – 65 с.

Kovalenko, V.S., Shteintsayg, R.M. and Golik, T.V. (2012), *Rekultivatsiya narushennykh zemel na karyerekh. Osnovnye trebovaniya k rekultivatsii narushennykh zemel* [Reclamation of Disturbed Lands in Open Cast Mines. Basic Requirements for Disturbed Lands Reclamation], Part 1, MGGU, Moscow, Russia.

**Цель.** Повышение эффективности горнотехнической рекультивации при открытой разработке горизонтальных месторождений путем обоснования технологии формирования внешнего и внутреннего отвалов с объединенной поверхностью, которая обеспечит увеличение площади рекультивированных земель для сельскохозяйственного использования при открытой разработке месторождений.

**Методика.** При проведении исследований использованы теоретические и экспериментальные ме-

тоды, в частности, анализ существующих способов рекультивации, математическое моделирование формирования отвалов.

**Результаты.** Установлена область рационального применения разработанного способа формирования отвалов с учетом полученных зависимостей дополнительного увеличения коэффициента рекультивации нарушенных земель от ширины и глубины карьерного поля. Коэффициент рекультивации максимально увеличивается на 6%, а площадь, занятая откосами внешнего и внутреннего отвалов, уменьшается на 39%.

Создана технологическая схема отвалообразования внешнего и внутреннего отвалов, которая предусматривает изменение текущей высоты третьего и четвертого отвальных ярусов и позволяет уменьшать площадь, занятую их откосами, без привлечения дополнительного выемочно-погрузочного оборудования. Применение сократит объемы работ по горно-технической рекультивации.

**Научная новизна.** Заключается в разработке методики определения параметров внешнего и внутреннего отвалов с общей поверхностью и технологических схем отвалообразования, которые предусматривают совмещение процессов отвалообразования и рекультивации на всех этапах разработки месторождения.

**Практическая значимость.** Применение разработанной методики определения параметров отвалов с общей поверхностью и предложенной технологии отвалообразования на практике позволит уменьшить площади, занимаемые откосами отвалов, которые не пригодны для сельскохозяйственного направления рекультивации, и объемы горнопланировочных работ при доработке горизонтального месторождения.

**Ключевые слова:** горизонтальное месторождение, отвалообразование, рекультивация, формирование отвалов, откос отвала, горнопланировочные работы

**Purpose.** To increase the mining reclamation effectiveness during flat deposits open cast mining through the introduction of the technology of external and internal dumps with the common surface formation which provides the rise of reclamation lands area suitable for the agricultural use.

**Methodology.** We have used following theoretical and experimental methods: analysis of reclamation techniques currently in use, mathematical modeling of dump formation.

**Findings.** We have determined the limits of smart use of the developed dump forming method taking into account the additional increase of reclamation lands coefficient depending on the width and depth of the open cast mine. The reclamation coefficient rises by 6%, and the area under external and internal dump slopes diminishes by 39%.

The external and internal dump formation flowsheet has been drawn. It includes the change of current height of the third and the fourth dump benches and allows diminishing the area under dump slopes, without involving of extra excavation equipment. The method results in reduce of mining reclamation work volume.

**Originality.** We have developed method of determination of the parameters of external and internal dumps with common surface and dumping flowsheets. This allows us to combine dumping and reclamation processes at all stages of deposit mining.

**Practical value.** Application of the suggested method and flowsheets will allow us to reduce the area under the dump slopes which is not suitable for agricultural reclamation and volumes of mining reclamation works at the cleaning-up stage of horizontal deposit mining.

**Keywords:** flat deposit, dumping, reclamation, dump formation, dump slope, mining reclamation

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук А.Ю. Дриженком. Дата надходження рукопису 12.02.13.*