

© Б.Ю. Собко¹, О.В. Ложніков¹, Р.О. Дичковський¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СУЦІЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО РОДОВИЩА ГЛИН У ВНУТРІШНЬОМУ ВІДВАЛІ КАР'ЄРУ

© B. Sobko¹, O. Lozhnikov¹, R. Dychkovskiy¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DETERMINATION OF THE COMMON MAN-CAUSED CLAY DEPOSIT PARAMETERS IN THE INTERNAL PIT DUMP

Мета. Обґрунтування ефективних параметрів суцільного техногенного родовища глин на території внутрішнього відвалу кар'єра при відкритій розробці розсипних родовищ.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень використовувався від час визначення основних параметрів суцільного техногенного родовища глин у внутрішньому відвалі кар'єру, з урахуванням потужності шару супутньої сировини, що складається. Графічний метод досліджень використовувався для визначення найбільш ефективної потужності суцільного техногенного родовища у внутрішньому відвалі кар'єру при відкритій розробці розсипного родовища.

Результати дослідження. Підтверджено, що зі збільшенням довжини секції техногенного родовища від 100 до 400 м, його фактична площа збільшується на 16 % з 52 до 63 га, у той час як об'єм робіт зі спорудження дамб зменшується в 1,6 рази з 10,3 до 6,7 млн м³. Встановлені параметри суцільного техногенного родовища під час розробки розсипних родовищ дозволяють стверджувати, що за показником об'єму робіт зі спорудження дамб найбільш ефективним є техногенне родовище потужністю 10 м, однак його застосування призведе до збільшення у 2,2 рази площі землі необхідної для розташування супутньої сировини у порівнянні з родовищем потужністю 20 м.

Наукова новизна. Встановлено залежності потужності та площі техногенного родовища від його ширини під час формування внутрішнього відвалу кар'єру. Встановлено залежності фактичної площі техногенного родовища і об'єму робіт зі спорудження дамб від довжини його секції, в яких розміщується супутня сировина для техногенних родовищ потужністю 10 і 20 м.

Практичне значення. Визначено ефективні параметри суцільного техногенного родовища в залежності від його потужності та об'єму супутньої сировини, що в ньому розміщується. Розроблено методики встановлення необхідної кількості секцій суцільного техногенного родовища, визначення об'єму робіт зі спорудження дамб і фактичної площі суцільного техногенного родовища у внутрішньому відвалі кар'єру.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, суцільне техногенне родовище, глина, відвал, супутня сировина

Актуальність. Видобування корисних копалин відкритим способом при розробці розсипних обводнених родовищ передбачає утворення значних об'ємів відходів, які розміщують у зовнішніх і внутрішніх відвалах, а також хвостосховищах. Для зменшення рівня утворення відходів виробництва при розробці роз-

сипних титан-цирконієвих родовищ, на практиці застосовуються технології комплексного використання сировини, які дозволяють ефективно поводитися з супутніми корисними копалинами, представленими піщаними і глиняними породами [1].

Виконані раніше дослідження дозволили встановити ефективність технології комплексної розробки обводнених розсипних родовищ, яка передбачає розділення вміщуючих порід рудного шару в кар'єрі на піщані і глинисті породи. Піщані породи, можуть використовуватися, як супутня сировина або складуватися у відвал, у той час глинисті породи, за відсутності споживача, мають розташовуватися у техногенному родовищі з можливістю їх подальшого використання.

Результати попередньо виконаних досліджень дозволили встановити параметри техногенного родовища глини, яке розміщується на декількох ділянках внутрішнього відвалу [2]. Однак актуальним залишається питання обґрунтування параметрів суцільного техногенного родовища глини при його розташуванні бокової частині внутрішнього відвалу з урахуванням поступового посування фронту гірничих робіт.

Аналіз досліджень. Виконаний аналіз науково-дослідних робіт за темою досліджень дозволив встановити, що основні роботи пов'язані з визначенням фізико-механічних характеристик відвальних порід [3], питанням визначення стійкості укосів уступів [4-5], дослідженням стійкості порід відвалів при їх складуванні на поверхні хвостосховища [6-7] і моделюванню розподілення мінералів у гідровідвалі [8-9].

У наведених вище роботах розглянуто питання стійкості порід у хвостосховищах і відвалах, але недостатньо розглянуто питання встановлення ефективних параметрів техногенних родовищ для тимчасового зберігання супутніх глиняних порід. Це пов'язано з певними складностями у складуванні, зберіганні і подальшому використанню супутньої сировини, що видобувається паралельно з видобутком основної корисної копалини. У зв'язку з цим постає питання необхідності виконання досліджень, пов'язаних з обґрунтуванням параметрів техногенних родовищ у межах внутрішнього відвалу.

Встановлення невирішених проблем. Результати проведених раніше досліджень дозволяють встановити недостатню обґрунтованість питання встановлення ефективних параметрів суцільного техногенного родовища глини при його розміщенні у боковій частині внутрішнього відвалу з метою подальшого залучення у розробку. Не вирішеними залишаються питання розподілу всього об'єму глини кар'єру, яка міститься у вміщуючих породах розсипного титан-цирконієвого родовища.

Також невирішеними залишаються питання визначення залежності площі та потужності суцільного техногенного родовища від його ширини при розміщенні супутньої сировини у верхньому ярусі внутрішнього відвалу, вибору оптимальних параметрів секцій техногенного родовища з урахуванням об'єму робіт зі спорудження захисних дамб.

Постановка задач. Для визначення ефективних параметрів суцільного техногенного родовища глини у боковій частині внутрішнього відвалу кар'єру при

розробці розсипних родовищ передбачено виконання наступних досліджень: розробити схему до визначення параметрів суцільного техногенного родовища, розташованого у боковій частині внутрішнього відвалу на кінець розробки кар'єру; встановити залежність потужності і площі техногенного родовища від його ширини при складуванні всього об'єму супутньої глиняної сировини кар'єру; визначити вплив довжини секції техногенного родовища з потужністю 10 і 20 м на їх площу і об'єм робіт зі спорудження захисних дамб.

Основний матеріал. Розташування техногенного родовища (ТР) глини у внутрішньому відвалі кар'єру може відбуватися, як на одній так і на декількох ділянках. Суцільне родовище застосовується у випадку необхідності розміщення всієї сировини у одному формуванні з постійною шириною і глибиною, у той час як довжина буде постійно збільшуватися по мірі відпрацювання кар'єру. Схема до розрахунку параметрів суцільного техногенного родовища приведена на рис. 1.

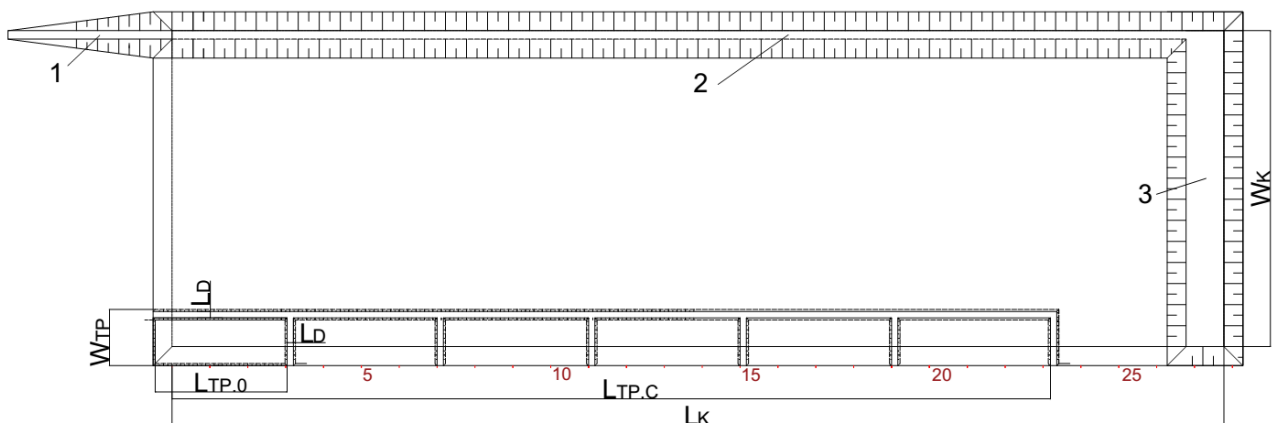


Рис. 1. Схема до визначення параметрів суцільного техногенного родовища, розташованого у боковій частині внутрішнього відвалу на кінець розробки кар'єру: 1 – капітальна траншея; 2 – виїзна траншея; 3 – розрізна траншея; W_{TP} – ширина ТР; $L_{TP.0}$ – довжина секції ТР; L_D – ширина дамби; $L_{TP.C}$ – довжина ТР; L_K – довжина кар'єру; W_K – ширина кар'єру

Встановлення параметрів техногенного родовища залежить від параметрів кар'єру, вмісту супутньої сировини у вміщуючих породах, параметрів безпечної відстані від ТР до фронту гірничих робіт.

При виконанні досліджень розглянуто приклад розрахунку параметрів формування техногенного родовища глини в умовах розробки типового розсипного родовища. Для розташування всієї супутньої сировини має виконуватися наступне рівняння, де ліворуч задається умова щодо лінійних параметрів техногенного родовища, а праворуч площа його поперечного перерізу з урахуванням об'єму супутньої сировини в родовищі:

$$\frac{W_{TP} + (W_{TP} - 2H_{TP} \operatorname{ctg} \beta)}{2} H_{TP} = \frac{L_K \cdot W_K \cdot h \cdot m_K}{L_K - L_B - B - H_K \cdot \operatorname{ctg} \beta},$$

де H_{TP} – потужність техногенного родовища, м; h – потужність корисної копалини, м; m_K – вміст супутньої сировини у вміщуючих породах кар'єру; L_B – безпечна відстань від дамби ТР до верхньої брівки внутрішнього відвалу зі сторони розрізної траншеї, м; B – ширина розрізної траншеї по низу, м; H_K – глибина кар'єру, м; β – кут укосу борта внутрішнього відвалу зі сторони розрізної траншеї, град.

При виконанні досліджень впливу ширини техногенного родовища W_{TP} на його потужність H_{TP} було прийнято параметри, що відповідають типовому кар'єру з розробки розсипних родовищ: довжина кар'єру – 5000 м; ширина кар'єру – 1500 м; потужність корисної копалини – 10 м; вміст супутньої глиняної сировини у вміщуючих породах кар'єру – 15 %; безпечна відстань від дамби ТР до верхньої брівки внутрішнього відвалу зі сторони розрізної траншеї – 500 м; ширина розрізної траншеї по низу – 20 м; глибина кар'єру – 60 м; кут укосу борта внутрішнього відвалу зі сторони розрізної траншеї – 35 °.

В результаті виконаних досліджень встановлено залежність потужності H_{TP} і площі S_{TP} техногенного родовища від його ширини W_{TP} (рис. 2).

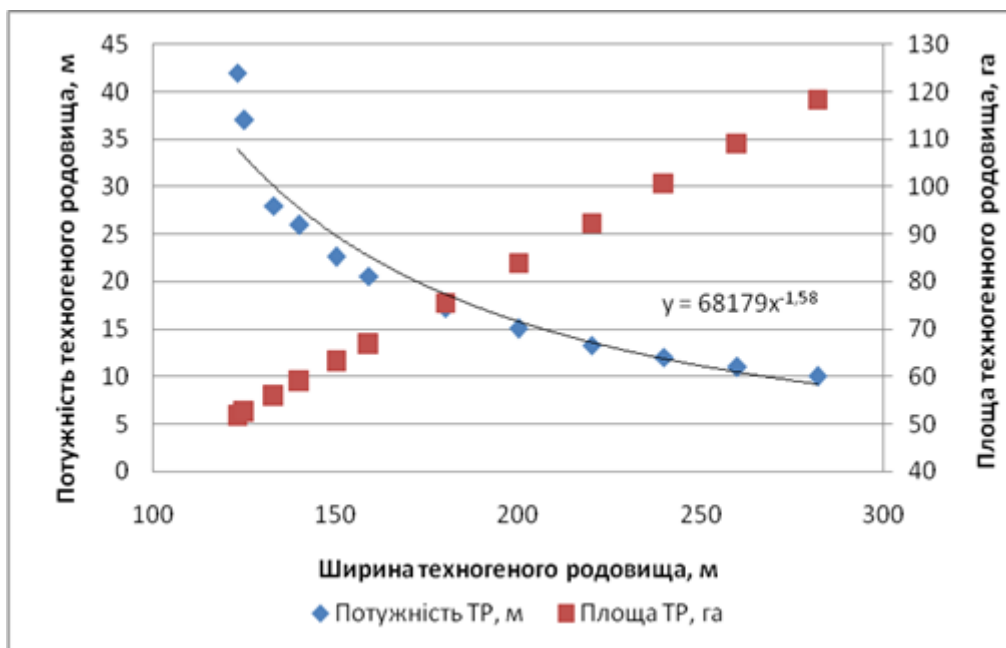


Рис. 2. Залежність потужності та площі техногенного родовища від ширини

Як видно зі встановлених залежностей (рис. 2) при зміні ширини техногенного родовища W_{TP} відбувається суттєва зміна як його площі S_{TP} так і глибини H_{TP} . При цьому залежність потужності від ширини є ступеневою і описується рівнянням $H_{TP} = 68179W_{TP}^{-1.58}$. Так, мінімально можлива ширина ТР в умовах розробки типового кар'єру складає 123 м, при потужності ТР = 42 м, у той же час для формування ТР потужністю 10 м, необхідно обрати ширину ТР = 282 м. Тобто при зростанні ширини ТР у 2,3 рази з 123 до 282 м, потужність ТР зменшиться у 4,2 рази з 42 до 10 м.

При цьому площа ТР збільшиться пропорційно його ширині з 52 до 118 га. Відповідно до отриманих залежностей найбільш ефективною буде потужність

ТР = 20 м, при ширині ТР 159 м і площі 67 га. Однак в подальших дослідженнях також необхідно розглянути можливість формування ТР потужністю 10 м, як більш оптимальне з позиції повторної розробки. В цьому випадку його ширина складе 282 м, а загальна площа 118 га.

Однак крім встановлення потужності і ширини техногенного родовища необхідно встановити ефективну довжину секцій техногенного родовища $L_{ТР.0}$ з урахуванням об'єму робіт зі спорудження огорожувальних дамб між секціями. Для вирішення цієї задачі виконані дослідження зі встановлення впливу довжини секцій техногенного родовища $L_{ТР.0}$ на решту його параметрів. Під час досліджень показників об'єму секцій ТР, кількості секцій ТР, об'єму робіт зі спорудження дамб ТР і фактична площа ТР приймався діапазон довжини секцій техногенного родовища від 100 до 1000 м.

Розрахунок параметрів здійснюється у наступній послідовності:

– об'єм секції техногенного родовища:

$$V_{S.ТР} = \frac{H_{ТР} \cdot (W_{ТР} - 2H_{ТР} \operatorname{ctg} \beta)(L_{ТР.0} + H_{ТР} \operatorname{ctg} \beta)}{2}, \text{ м}^3;$$

– кількість секцій техногенного родовища для складування всього об'єму супутньої сировини:

$$N_{S.ТР} = \frac{L_K \cdot W_K \cdot h \cdot m_K}{V_{S.ТР}}, \text{ од.};$$

– об'єм робіт зі спорудження дамб:

$$V_{D.W} = H_{ТР} \cdot N_{S.ТР} \cdot (L_D + H_{ТР} \operatorname{ctg} \beta)(L_{ТР.0} + W_{ТР}), \text{ м}^3;$$

– фактична площа техногенного родовища з урахуванням укосів бортів дамб:

$$N_{S.ТР} = L_{ТР.0} \cdot W_{ТР} \cdot N_{S.ТР}, \text{ м}^2.$$

Результати виконаних розрахунків для техногенного родовища потужністю 10 м наведені в табл. 1.

Відповідно до аналізу результатів (табл. 1) основними параметрами, що впливають на техніко-економічні показники формування техногенного родовища є об'єм робіт зі спорудження дамб і фактична площа ТР, у зв'язку із цим їх представлено окремими графіками залежностей, наведеними і на рис. 3.

Параметри суцільного ТР потужністю 10 м з боковим розташуванням у внутрішньому відвалі

Довжина секції ТР, $L_{TR.0}$, м	Об'єм секції ТР, $V_{S.TP}$, млн m^3	Кількість секцій ТР, $N_{S.TP}$, од.	Об'єм робіт зі спорудження дамб, $V_{D.W}$, млн m^3	Фактична площа ТР, $N_{S.TP}$, га
100	0,31	36,77	6,22	103,7
200	0,57	19,61	4,19	110,6
300	0,84	13,37	3,45	113,1
400	1,11	10,14	3,06	114,4
500	1,38	8,17	2,83	115,2
600	1,64	6,84	2,67	115,7
700	1,91	5,88	2,56	116,1
800	2,18	5,16	2,47	116,4
900	2,45	4,60	2,41	116,7
1000	2,72	4,14	2,35	116,8

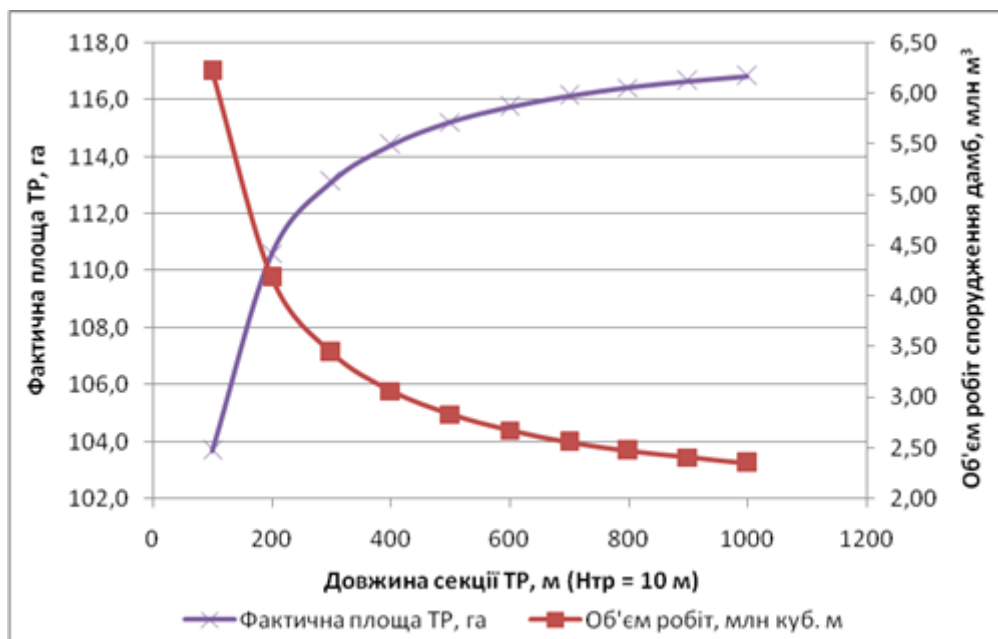


Рис. 3. Вплив довжини секції суцільного техногенного родовища на його площу і об'єм зі спорудження дамб при потужності 10 м

Встановлені залежності фактичної площі техногенного родовища і об'єму робіт зі спорудження дамб від довжини його секції (рис. 3) показують, що основна зміна цих показників відбувається у діапазоні 100 – 400 м. При подальшому зростанні показники стабілізуються. Так при збільшенні довжини секції зі 100 до 400 м, фактична площа ТР збільшується на 9 % зі 104 до 114 га, що корелюється з попередніми дослідженнями (рис. 2), у той час як об'єм робіт зі спорудження дамб зменшується у 2,1 рази з 6,3 до 3,06 млн m^3 . Відповідно до отриманих показників рекомендовано приймати до застосування на практиці довжину секцій 400 м при потужності техногенного родовища 10 м.

Наступним завданням досліджень є обґрунтування ефективних параметрів секцій техногенного родовища при його потужності 20 м. Результати проведених досліджень зі встановлення об'ємів секцій техногенного родовища, їх кількості, а також фактичної площі наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Параметри суцільного ТР потужністю 20 м з боковим розташуванням у внутрішньому відвалі

Довжина секції ТР, $L_{ТР.0}$, м	Об'єм секції ТР, $V_{S.ТР}$, млн m^3	Кількість секцій ТР, $N_{S.ТР}$, од.	Об'єм робіт зі спорудження дамб, $V_{D.W}$, млн m^3	Фактична площа ТР, $N_{S.ТР}$, га
100	0,35	32,56	10,324	51,8
200	0,61	18,37	8,073	58,4
300	0,88	12,79	7,188	61,0
400	1,15	9,81	6,715	62,4
500	1,41	7,96	6,421	63,3
600	1,68	6,70	6,221	63,9
700	1,95	5,78	6,075	64,3
800	2,21	5,08	5,965	64,6
900	2,48	4,53	5,878	64,9
1000	2,75	4,09	5,808	65,1

Результати встановлених залежностей об'єму робіт зі спорудження дамб і фактичної площі техногенного родовища від довжини його секцій наведено на рис. 4.

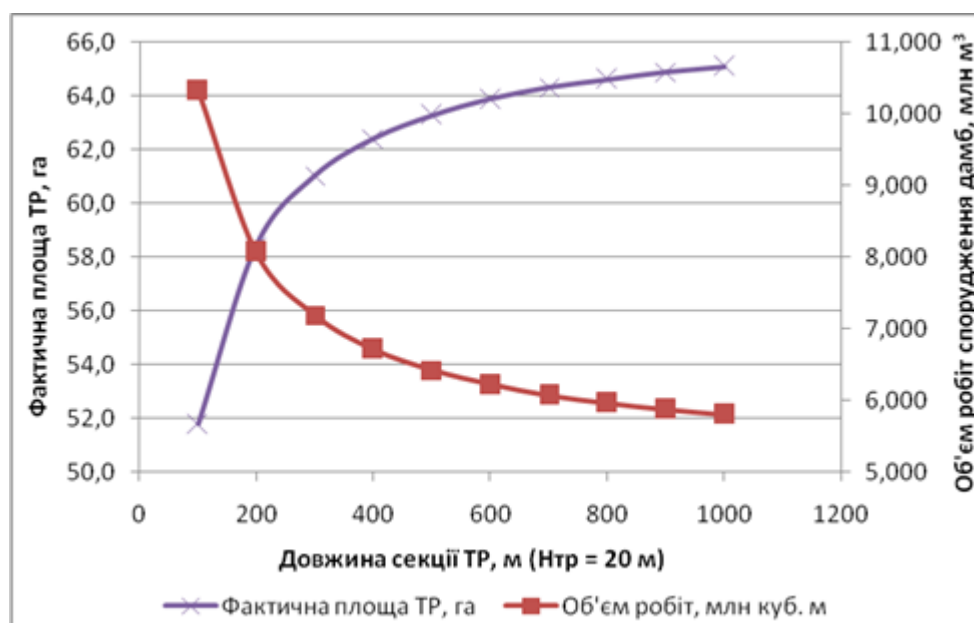


Рис. 4. Вплив довжини секції ТР на його площу і об'єм зі спорудження дамб при потужності 20 м

Як видно зі встановлених залежностей (рис. 4) при збільшенні довжини секції ТР від 100 до 400 м, його фактична площа збільшується на 16 % з 52 до 63 га, у той час як об'єм робіт зі спорудження дамб зменшується в 1,6 рази з 10,3 до 6,7 млн м³.

Аналіз отриманих результатів досліджень дозволяє стверджувати, що найбільш ефективним є техногенне родовище глибиною 20 м, шириною 160 м і довжиною секцій 500 м, за показником площі, яку необхідно виділити для його розташування – 63 га, у той час за показником об'єму роботи зі спорудження дамб (6,7 млн м³) воно поступається техногенному родовищу потужністю 10 м. Не зважаючи на те, що для розташування всього об'єму супутніх корисних копалин у ТР потужністю 10 м необхідно задіяти площу, що дорівнює 114 га, загальний об'єм робіт зі спорудження дамб складе 3,06 млн м³, що у 2,2 рази менше ніж при потужності техногенного родовища 20 м.

Висновки. Дослідження параметрів суцільного техногенного родовища дозволило встановити, що зі зміною його ширини відбувається суттєва зміна як його площі так і глибини. Визначено, що мінімально можлива ширина суцільного техногенного родовища в умовах розробки типового титан-цирконієвого кар'єру складає 123 м при потужності техногенного родовища 42 м, у той же час для формування родовища потужністю 10 м, його ширина має скласти 282 м. Отримані результати дозволяють встановити, що при зростанні ширини техногенного родовища у 2,3 рази з 123 до 282 м, його потужність зменшиться у 4,2 рази.

Результати проведених досліджень доводять, що найбільш ефективним є техногенне родовище глибиною 20 м за показником площі, яку необхідно виділити для його розташування – 63 га, у той час за показником об'єму роботи зі спорудження дамб найбільш ефективним є техногенне родовище потужністю 10 м. Встановлено, що для розташування всього об'єму супутніх корисних копалин у техногенному родовищі потужністю 10 м необхідно задіяти площу 114 га, у той час як загальний об'єм робіт зі спорудження дамб зменшиться у 2,2 рази у порівнянні з техногенним родовищем, потужність якого складає 20 м.

Перелік посилань

- 1 Dychkovskiy, R., Vladyko, O., Maltsev, D., & Cáceres Cabana, E. (2018). Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko-Geološko-Naftni Zbornik*, 33(4), 73–82. <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.4.7>
2. Ложніков, О. В., & Дичковский, Р. О. (2020). Встановлення параметрів багатосекційного складу глин у внутрішньому відвалі кар'єру при комплексній розробці розсипних родовищ. *Геотехнічна Механіка*, 152, 263–274. <https://doi.org/10.15407/geotm2020.152.263>
3. Koner, R., & Chakravarty, D. (2016). Characterisation of overburden dump materials: a case study from the Wardha valley coal field. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(3), 1311–1323. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0830-x>
4. Adamczyk, J., Cała, M., Flisiak, J., Kolano, M., & Kowalski, M. (2013). Slope stability analysis of waste dump in sandstone open pit Osielec. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 35(1), 3–17. <https://doi.org/10.2478/sgem-2013-0001>

5. Poulsen, B., Khanal, M., Rao, A. M., Adhikary, D., & Balusu, R. (2014). Mine Overburden Dump Failure: A Case Study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 32(2), 297–309. <https://doi.org/10.1007/s10706-013-9714-7>
6. Chang, L. S., Yang, T. Y., & Deng, H. J. (2013). Disaster Prediction and Preventive Measures of Constructing a Waste Dump on an Abandoned Tailing Pond. *Applied Mechanics and Materials*, 405–408, 2427–2430. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.405-408.2427>
7. Wang, Z., Lv, X., & Wang, J. (2012). Stability analysis of water-filled dump slope under the couple effect of seepage and damage. *Disaster Advances*, 5 (4), 816–821. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.658.2048&rep=rep1&type=pdf>
8. Pipatpongsa, T., Khosravi, M. H., & Takemura, J. (2013). Physical modeling of arch action in undercut slopes with actual engineering practice to Mae Moh open-pit mine of Thailand. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ICSMGE18)*, 943–946. <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/943-946.pdf>
9. Engel, J., Mihok, J., Rybar, R., & Tyulenev, M. (2018). Defining the Main Parameters of Hydro-Dumping at Open Pits. *E3S Web of Conferences*, 41, 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101004>

АННОТАЦИЯ

Цель. Обоснование эффективных параметров сплошного техногенного месторождения глин на территории внутреннего отвала карьера при открытой разработке россыпных месторождений.

Методика исследования. Аналитический метод исследований использовался для определения основных параметров сплошного техногенного месторождения глин во внутреннем отвале карьера с учетом мощности слоя складированного сырья. Графический метод исследований использовался для определения наиболее эффективной мощности сплошного техногенного месторождения во внутреннем отвале карьера при открытой разработке россыпного месторождения.

Результаты исследования. Подтверждено, что с увеличением длины секции техногенного месторождения со 100 до 400 м, его фактическая площадь увеличивается на 16% с 52 до 63 га, в то время как объем работ по сооружению дамб уменьшается в 1,6 раза с 10,3 до 6,7 млн м³. Установленные параметры сплошных техногенных месторождений при разработке россыпных месторождений позволяют утверждать, что относительно показателя объема работ по сооружению дамб наиболее эффективным является техногенное месторождение мощностью 10 м, однако его применение приведет к увеличению в 2,2 раза площади земли необходимой для размещения попутного сырья по сравнению с месторождением мощностью 20 м.

Научная новизна. Установлены зависимости мощности и площади техногенного месторождения от его ширины при формировании внутреннего отвала карьера. Установлены зависимости фактической площади техногенного месторождения и объема работ по сооружению дамб от длины его секции, в которых размещается попутное сырье для техногенных месторождений мощностью 10 и 20 м.

Практическое значение. Определены эффективные параметры сплошного техногенного месторождения в зависимости от его мощности и объема попутного сырья, которое в нем размещается. Разработана методика установления необходимого количества секций сплошного техногенного месторождения, определения объема работ по сооружению дамб и фактической площади сплошного техногенного месторождения во внутреннем отвале карьера.

Ключевые слова: открытая разработка, карьер, сплошное техногенное месторождение, глина, отвал, попутное сырье.

ABSTRACT

Purpose. Substantiation of the efficient parameters of a common man-caused clay deposit on the territory of the pit internal dump at the surface mining of placer deposits.

Research methodology. The analytical research method was used to determine the main parameters of a common man-caused clay deposit in the pit internal dump, taking into account the thickness of the stored layer of raw materials. The graphical research method was used to determine the most efficient thickness of a common man-caused deposit in the pit internal dump during the surface mining of placer deposit.

The results. It has been confirmed that with an increase of the section length of a man-caused deposit from 100 to 400 m, its actual area increases by 16% from 52 to 63 hectares, while the volume of the dams construction works decreases in 1.6 times from 10.3 to 6.7 million m³. The established parameters of common man-caused deposits during the development of placer deposits make it possible to assert that, in relation to the volume of work on the dams construction, the most efficient is a man-caused deposit with a thickness of 10 m, but its submission will lead to a 2.2 times increase of the area of land required for the placement of accompany raw materials in comparison with man-caused deposit with a thickness of 20 m.

Scientific novelty. Dependences of the thickness and area of man-caused deposit on its width during the pit internal dump formation have been established. The dependences of the actual area of man-caused deposit and the work volume of the dams construction on the length of its section with accompany raw materials for man-caused deposits with a thickness of 10 and 20 m are determined.

Practical value. The effective parameters of a common man-caused deposit have been determined depending on its capacity and the volume of accompany raw materials that are placed in it. A method for establishing the required number of common man-cause deposit sections, determining the work volume of the dams construction and the actual area of common man-caused deposit in the pit internal dump has been developed.

Key words: *surface mining, pit, common man-caused deposit, clay, dump, accompany raw materials*