

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

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННОГО РОДОВИЩА У ВНУТРІШНЬОМУ ВІДВАЛІ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ РОЗСИПНИХ РОДОВИЩ

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

SUBSTANTIATION PARAMETERS OF MAN-CAUSED DEPOSIT IN PIT INTERNAL DUMP AT THE PLACER DEPOSITS SURFACE MINING

Мета. Обґрунтування ефективних параметрів техногенних родовищ розміщених на території внутрішніх відвалів кар'єрів з розробки розсіпних родовищ.

Методика дослідження. Аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні основних параметрів техногенних родовищ типу «внутрішній» і «зовнішній» відвал, з урахуванням їх потужності і об'єму. При встановленні ефективної кількості ділянок техногенних родовищ під час розробки розсіпного родовища використовувався графічний метод досліджень.

Результати дослідження. Підтверджено, що зі збільшенням кількості ділянок техногенних родовищ від 1 до 10 для збереження супутньої сировини, загальна площа для їх розташування збільшиться на 5 – 8,5 % в залежності від потужності, у той час як об'єм транспортної роботи скоротиться у 4 рази. Встановлені параметри техногенних формувань при розробці розсіпних родовищ дозволяють стверджувати, що оптимальною кількістю місць складування глини з вміщуючих порід руди є три ділянки техногенного родовища з потужністю від 10 до 20 м.

Наукова новизна. Встановлено вплив потужності техногенного родовища на його площу і довжину при розміщенні потенційної сировини у внутрішньому відвалі кар'єру. Встановлено залежність площ ділянок техногенного родовища при розташуванні супутніх корисних копалин у різних частинах внутрішнього відвалу по мірі посування фронту гірничих робіт. Визначено вплив кількості ділянок техногенних родовищ на середньозважений об'єм транспортної роботи за час експлуатації кар'єру.

Практичне значення. Визначено ефективну кількість ділянок складування техногенної сировини впродовж розробки розсіпного родовища. Розроблено методику встановлення параметрів окремих техногенних родовищ і їх загальної площі за час експлуатації кар'єру. Встановлено об'єми гірничотранспортної роботи при формуванні різної кількості ділянок техногенного родовища у внутрішньому відвалі кар'єру.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, техногенне родовище, відвал, об'єм транспортної роботи, супутня сировина

Актуальність. Розробка родовищ корисних копалин передбачає відділення значних об'ємів вміщуючих порід при вилученні важких мінералів з руди [1]. При розробці титан-цирконієвих родовищ основними вміщуючими породами у руді є пісок і глина, які змішані у різних пропорціях.

Попередньо виконані дослідження дозволили встановити ефективність розділення піщано-глинистої суміші вміщуючих порід на пісок і глину з метою їх

подальшого використання, або тимчасового зберігання при відсутності прямого споживача. Основною перевагою такого розділення є можливість відмовитись від формування хвостосховища, у яке складується піщано-глиниста суміш. Ця гідросуміш через фізико-механічні властивості не може складуватися на поверхні внутрішнього відвалу оскільки це призведе до порушення його стійкості.

Відділений пісок з вміщуючих порід ефективно розміщувати у нижньому ярусі відвалу, де завдяки своїм фільтраційним властивостям він забезпечить безпечне складування на нього наступних відвальних ярусів. Однак залишається невирішеним питання з розміщенням глин, відділених від вміщуючих в руді порід. Оскільки вологі глини мають низьку несучу здатність, на практиці їх рекомендовано розміщувати у верхніх ярусах внутрішнього відвалу. При правильному складуванні у майбутньому цей ярус може розглядатися як потенційне техногенне родовище (ТР). Отже постає питання ефективного складування глиняних вміщуючих порід у внутрішньому відвалі кар'єру з можливістю їх подальшого видобутку як мінеральної сировини.

Аналіз досліджень. Аналіз світової практики зі створення техногенних покладів глини у межах внутрішнього відвалу кар'єру показав, що основні напрями досліджень присвячені вирішенню питань стійкості укосів бортів відвалів [2 – 3] і моделюванню розподілення мінералів у гідровідвалі [4 – 5]. Також частина робіт спрямована на визначення стійкості порід відвалів при їх складуванні на поверхню сформованого раніше хвостосховища [6 – 7].

Значним недоліком зазначених робіт є галузь застосування результатів досліджень, адже відсутні конкретні дослідження щодо встановлення ефективних параметрів складування супутньої сировини у техногенні формування на поверхні внутрішніх відвалів при розробці кар'єру. Причина полягає у тому, що супутня сировина, яка представлена глиняними породами, як правило, не розглядається як ресурс перспективний до використання в майбутньому. Через це глиняні породи валово складуються у відвали або хвостосховищах, що призводить до їх втрати з позиції повторного використання.

Встановлення невирішених проблем. Аналіз науково-дослідних робіт за темою досліджень дозволив встановити недостатню вивченість питань, які стосуються складування вміщуючих глиняних порід у верхніх ярусах внутрішніх відвалів кар'єрів. Основним недоліком робіт є те, що в них приводяться загальні технологічні схеми складування окремих видів гірничих порід у одному техногенному родовищі, при тому не розглянуті питання розміщення потенційних копалин у внутрішньому відвалі кар'єру, з подальшою можливістю їх залучення у промислове використання.

Другою невирішеною проблемою є вибір міста розташування техногенного формування глини на поверхні внутрішнього відвалу. Ця проблема зумовлена тим, що за час розробки родовища фронт гірничих робіт переміщується на 5 – 7 км, тобто формування одного техногенного родовища глини у районі закладання капітальної траншеї кар'єру призведе до значних витрат на транспортування глини перед завершальним етапом розробки родовища.

Постановка задач. Встановлення ефективних параметрів техногенного родовища глини у внутрішньому відвалі кар'єру при розробці розсипних родовищ передбачає виконання наступних досліджень: проаналізувати фактори вибору місця складування супутньої сировини при розробці кар'єру; встановити необхідну площу для розташування усього об'єму глини, яка вміщується у рудних пісках, при різній потужності ТР; встановити вплив кількості ділянок техногенного родовища на об'єм гірничотранспортної роботи за час експлуатації кар'єру; встановити ефективну кількість ділянок техногенного родовищ глини за час розробки розсипного родовища. Вирішення поставлених задач дозволить розробити рекомендації щодо вибору кількості ділянок техногенного родовища під час експлуатації кар'єру, а також встановити їх параметри.

Основний матеріал. Аналіз виконаних раніше науково-дослідних робіт дозволив систематизувати переваги і недоліки розміщення усієї супутньої сировини з кар'єру на одній або декількох ділянках родовища. Розглянемо окремо кожен спосіб складування.

Складування супутньої сировини у одному місці (техногенному формуванні) під час розробки розсипного родовища має, як переваги так і недоліки. Основною перевагою є розміщення усього об'єму в одному місці, що забезпечує мінімальну площу необхідну для розташування всього об'єму сировини. До того ж при повторній розробці цього формування порушення землі буде відбуватися лише в одному місці, що забезпечить зменшення об'ємів рекультиваційних робіт. Також при розташуванні усієї сировини в одному місці при її подальшій розробці, зникає необхідність у спорудженні декількох транспортних шляхів, як у випадку з розташуванням сировини у на різних ділянках.

До недоліків способу складування усієї супутньої сировини на одній ділянці варто віднести збільшення середньозваженої відстані транспортування за час експлуатації кар'єру. Так, наприклад, родовища титан-цирконієвих руд можуть сягати у довжину до десяти кілометрів, тобто на завершальному етапі розробки кар'єра відстань транспортування сировини у техногенне формування біля капітальної траншеї буде не меншим за цей показник. При цьому, доки розробка кар'єру не буде завершена таке формування неможливо буде повністю рекультивувати. Адже до моменту повторного використання сировини може пройти багато часу і воно буде під впливом навколишнього середовища.

Відповідно до цього виникає потреба у науковому обґрунтуванні доцільності розташування окремих видів супутньої сировини на одній ділянці за час експлуатації кар'єру. Попередньо виконаний аналіз дозволив встановити, що розділення супутньої сировини при складуванні на декількох ділянках матиме як переваги так і недоліки. Основною перевагою цього способу є зменшення середньозваженої відстані транспортування сировини за час експлуатації кар'єру, тому що зникає потреба переміщувати весь об'єм супутньої сировини з вибою до умовного місця розташування капітальної траншеї. Також перевагою складування сировини на декількох ділянках є можливість у подальшому при незначному попиті розробити лише одне техногенне родовище (ТР) з мінімальною шкодою для навколишнього середовища. При формуванні декількох ТР, з'являється

можливість їх швидкого формування і рекультивації. Ватро зазначити, що складування сировини в окремих ТР також дозволить роздільно зберігати супутні мінерали різної якості без перемішування і збіднення.

Однак при зберіганні супутньої сировини на декількох ділянках також є суттєві недоліки. Перший з них це збільшення загальної площі території необхідної для розташування того самого об'єму супутньої сировини. Це пов'язано з тим, що форма техногенного формування типу зовнішній або внутрішній відвал має вигляд усіченої піраміди і певна частина матеріалу розташовується в її укосах. За рахунок цього, при збільшенні кількості техногенних формувань для зберігання однакового об'єму сировини буде збільшуватися площа для їх розташування. Наступна проблема, що полягає у необхідності спорудження транспортних підходів до кожного окремого ТР, виникне тоді, як після завершення експлуатації кар'єру з'явиться попит на сировину. На відміну від складування сировини в одному місці, розташування її декількох ділянках на відстані у декілька кілометрів один від одного ускладнить завдання повторного відпрацювання оскільки необхідно буде споруджувати додаткові дороги на поверхні вже рекультивованих відвалів. Також при розташування ТР на значній відстані одне від одного виникає необхідність у переміщенні гірничо-видобувного устаткування з однієї ділянки на іншу після відпрацювання сировини першого ТР.

Систематизація переваг і недоліків складування супутньої сировини в одному або окремих техногенних формуваннях наведена у табл. 1.

Встановлені переваги і недоліки способів складування супутньої сировини на різних ділянках ТР не дозволяють прийти до висновку відносно того, який спосіб складування сировини більш ефективний з урахуванням часу розробки кар'єру. Для вирішення цього питання необхідно виконати дослідження для встановлення залежностей впливу кількості ділянок ТР на площу, необхідну для розташування усього об'єму супутньої сировини з кар'єру, а також на об'єм гірничотранспортної роботи за час експлуатації кар'єру. Визначення цих двох залежностей дозволить встановити ефективну кількість ділянок ТР при розробці розсипного родовища для складування супутньої сировини.

Дослідження залежності площі земель, на якій розташоване одне чи декілька ділянок ТР з однаковим об'ємом сировини вирішується шляхом аналізу геометричної форми створеного покладу. Як відомо з практики гірничих робіт форма техногенного формування може бути описана «зовнішнім» або «внутрішнім» відвалом. У тому випадку коли сторони цього формування будуть рівними, тобто мати вигляд квадрату, ТР буде мати форму усіченої піраміди, об'єм якої розраховується за формулою:

$$V = \frac{H}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}), \text{ м}^3, \quad (1)$$

де S_1 і S_2 – площа верхньої і нижньої основ усіченої піраміди, м^2 , H – висота усіченої піраміди, м.

Таблиця 1.

Переваги і недоліки складування супутньої сировини на одній або багатьох ділянках ТР під час розробки розсипного родовища

Розміщення сировини у ТР	Переваги	Недоліки
Одна ділянка ТР	<ol style="list-style-type: none"> 1. Мінімальна площа ТР 2. При повторній розробці рекультивація виконується лише в одному місці 3. При повторній розробці необхідне спорудження лише одного транспортного підходу 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшена середньозважена відстань транспортування сировини за увесь час розробки кар'єру 2. Завершення рекультивації на поверхні ТР лише після доробки кар'єру
Декілька ділянок ТР	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відносно невелика середньозважена відстань транспортування сировини 2. Можливість розробки одного невеликого ТР при низькому попиті без розконсервації великого ТР 3. Швидке формування ділянок ТР і рекультивація їх поверхні 4. Можливість складування сировини у ТР різної якості 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення загальної площі ТР при складуванні однакового об'єму сировини 2. Необхідність спорудження транспортних підходів до кожного ТР 3. Допоміжні роботи з переміщення гірничого устаткування з одної ділянки ТР на іншу після послідовної відробки запасів

У нашому випадку з параметрів виразу (1) відоме лише значення об'єму техногенного формування. Решта параметрів є змінними і залежать у першу чергу від кута нахилу укосів ТР. Тобто якщо довжина сторони більшої основи усіченої піраміди дорівнює L_1 , то сторона меншої основи $L_2 = L_1 - 2H/\operatorname{tg}\alpha$. Де H – потужність ТР, м; α – кут укосу борта ТР, град. Відповідно до вказаних рівнянь вираз (1) можна представити у вигляді (2), який перетворюється у вираз (3):

$$V = \frac{H}{3} \left(L_1^2 + L_2^2 + \sqrt{L_1^2 \cdot L_2^2} \right), \text{ м}^3, \quad (2)$$

$$V = \frac{H}{3} \left(L_1^2 + \left(L_1 - \frac{2H}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 + \sqrt{L_1^2 \cdot \left(L_1 - \frac{2H}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2} \right), \text{ м}^3. \quad (3)$$

Як видно з рівняння (3), при відомому об'ємі техногенного формування і його потужності, встановлення площі, необхідної для його розташування, S_1 не викликає складностей. Однак, з іншого боку, при розкритті дужок у виразі (3) підкорінне значення буде мати 4 ступінь тобто знаходження коренів у цьому виразі є проблематичним з математичної точки зору. Тому вирішення цього рівняння можливе графічним способом.

Встановимо залежність довжини основи ТР від його потужності $f(H) = L$ і залежність площі ТР від його потужності $f(H) = S$ з використанням наступних показників: об'єм ТР – 1,0 млн м³, кут нахилу укосу борта ТР – 35°. Результати досліджень наведені на рис. 1.

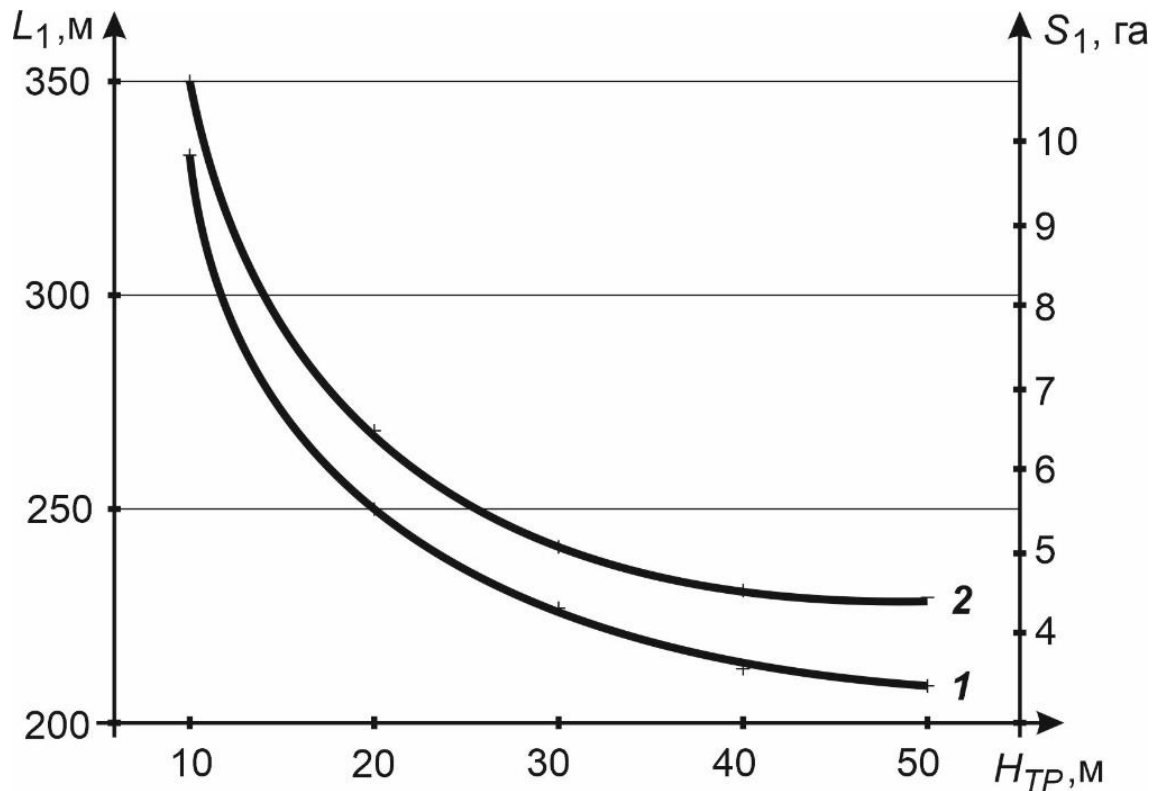


Рис. 1. Встановлення впливу потужності ТР на його площу і довжину основи при заданому об'ємі сировини 1,0 млн m^3 : 1 – довжина основи ТР; 2 – площа ТР

Результати досліджень впливу потужності ТР на його довжину і площу (рис. 1) дозволяють встановити, що при збільшенні його потужності у 5 разів з 10 до 50 м, площа, яка необхідна для розміщення ТР зменшиться у 2,5 разів. Виходячи з цього, при проектуванні перевагу необхідно надавати ТР з більшою потужністю. Однак, велика потужність ТР типу внутрішній відвал, пов'язана з ускладненням технології формування і подальшої розробки техногенної сировини, а ще це зумовить утворення глибокої виробки після відпрацювання ТР. Тому у подальших дослідженнях потужність ТР буде прийматися у межах 10 – 20 м, що дозволить без перешкод розробляти це формування екскаватором з використанням одного або двох уступів.

На основі загального випадку з використанням рівняння (3) проводяться дослідження зі встановлення впливу об'єму сировини у ТР на його площу при потужності формування $H_{TR} = 10$ і 20 м. При виконанні досліджень розглядався діапазон об'єму сировини у техногенному родовищі від 2 до 22 млн m^3 . Результати досліджень наведені на рис. 2.

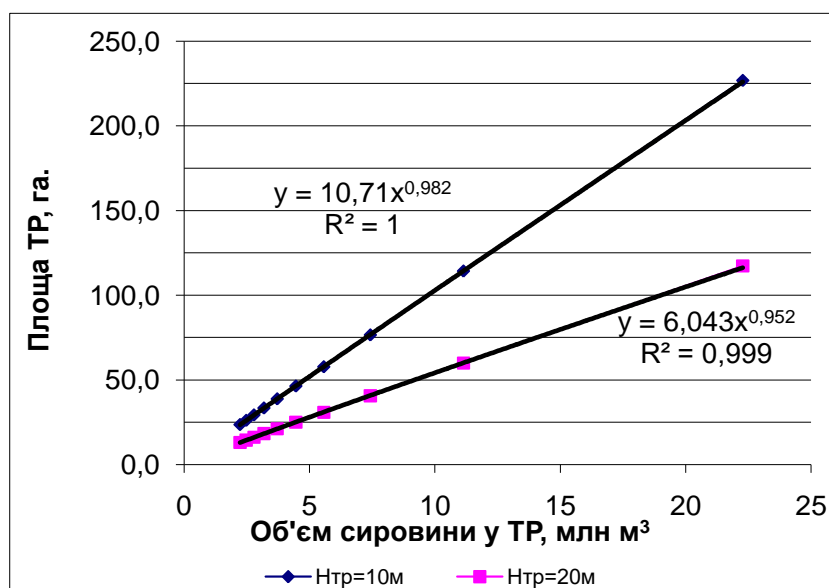


Рис. 2. Вплив об'єму супутньої сировини на площу техногенного родовища при $H_{TP} = 10$ і 20 м

Аналіз графіків (рис. 2.) дозволяє встановити, що при збільшенні об'єму ТР у 11 разів з 2 до 22 млн м³, його площа зростає у 9,9 і 9,0 разів для $H_{TP} = 10$ і 20 м, відповідно. Тобто, ще раз підтверджується твердження, що чим більше потужність ТР тим менше необхідно буде залучити площ при збільшенні об'єму супутньої сировини.

При більш детальному дослідженні впливу об'єму глиняної супутньої сировини на параметри техногенного родовища розглянута залежність довжини і площі ТР від його об'єму. Результати виконаних досліджень для $H_{TP} = 10$ м наведено на рис. 3.

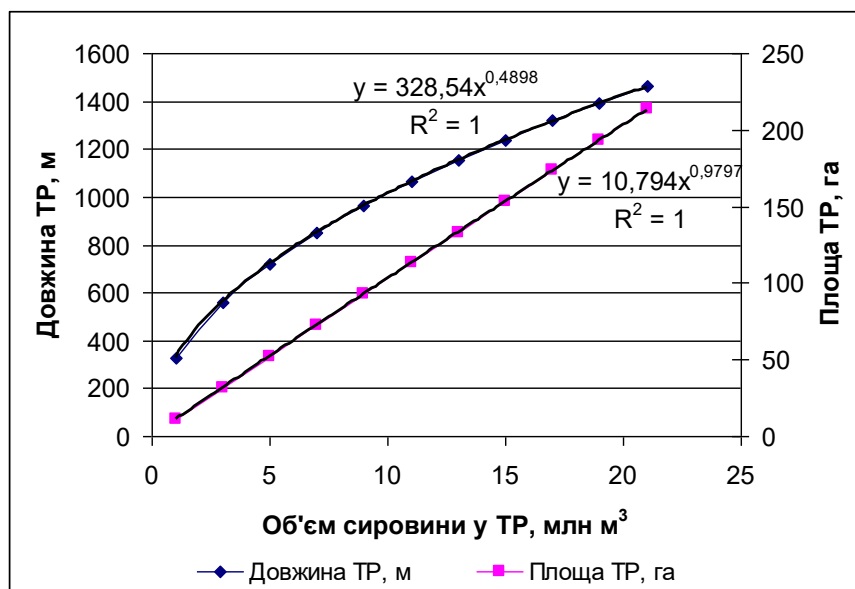


Рис. 3. Вплив об'єму супутньої сировини на параметри техногенного родовища при $H_{TP} = 10$ м

Згідно з отриманими графіками (рис. 3) залежність довжини ТР від об'єму складованої у ньому глиняної супутньої сировини описується рівнянням $L_{TR} = 328,5 N_{TR}^{0,982}$. Це рівняння у подальшому використовується при встановленні довжини техногенних формувань потужністю 10 м і різними об'ємами сировини.

За результатами досліджень загальних випадків в подальшому визначається вплив кількості ділянок ТР на необхідну площу їх розміщення для розташування однакового об'єму супутньої сировини.

Розглянемо приклад розміщення у техногенному формуванні усього об'єму глини, яка вміщується у рудних пісках кар'єру Мотронівського ГЗК. При проектній потужності кар'єру 2,7 млн м³, середній вміст глини у рудних пісках складає 15 %. За проектний термін експлуатації кар'єру у 55 років загальний об'єм супутніх глиняних порід з рудного пласту складе 22,28 млн м³. Відповідно до цього об'єму розглянемо можливість створення різної кількості ділянок ТР упродовж терміну експлуатації кар'єру.

У ході досліджень розглянуто варіанти розміщення техногенної сировини у 1 – 10 техногенних формуваннях. Така кількість пояснюється тим, що розробка родовища буде тривати десятки років, а фронт гірничих робіт переміститься на відстань більш ніж 10 км.

З використанням виразу (3) встановлюється вплив кількості ТР за час експлуатації кар'єру на площу окремих ТР і їх спільну площу. Під час досліджень розглядалися два варіанти формування ТР потужністю 10 і 20 м. Результати залежності площ окремих ділянок ТР і їх спільної площі від їх кількості при потужності техногенного формування 10 м наведені на графіках (рис. 4).

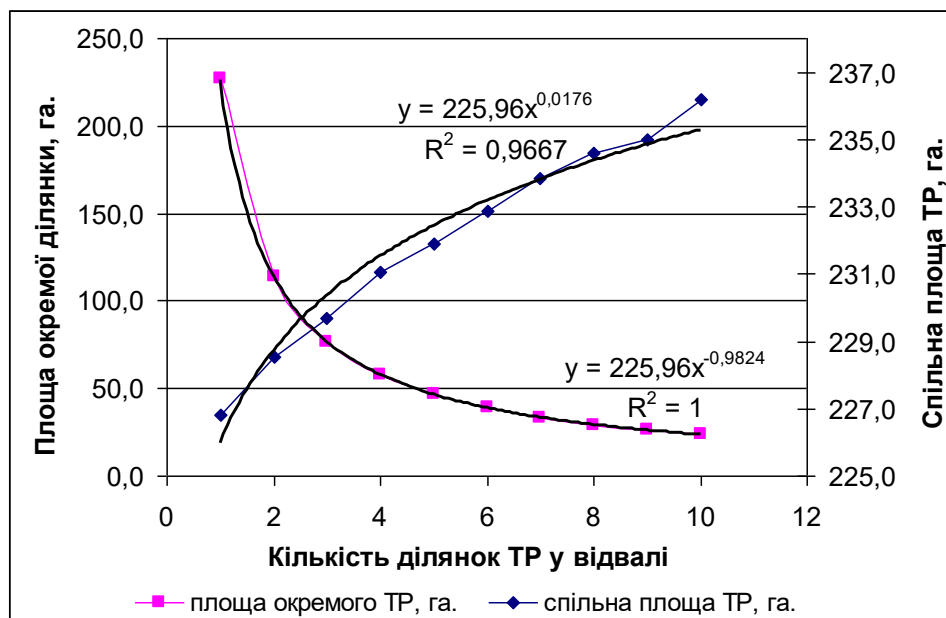


Рис. 4. Залежність площі окремих ділянок ТР і їх спільної площі від кількості ділянок за час експлуатації кар'єру при $H_{TR} = 10$ м

Як видно з графіків залежностей (рис. 2) при збільшенні кількості ділянок ТР від 1 до 10 для розміщення 22,3 млн м³ супутньої сировини загальна площа

ТР збільшиться на 5 % з 226 до 237 га. Збільшення відбувається відповідно до ступневого рівняння $S = 225,96N_{TP}^{0,0176}$, яке в подальшому може використовуватися для будь якої кількості ТР.

Також з використанням виразу (3) виконані дослідження параметрів ділянок ТР при потужності 20 м. Встановлені залежності площі від кількості ділянок при розміщенні в них 22,3 млн м³ сировини наведено на рис. 5.

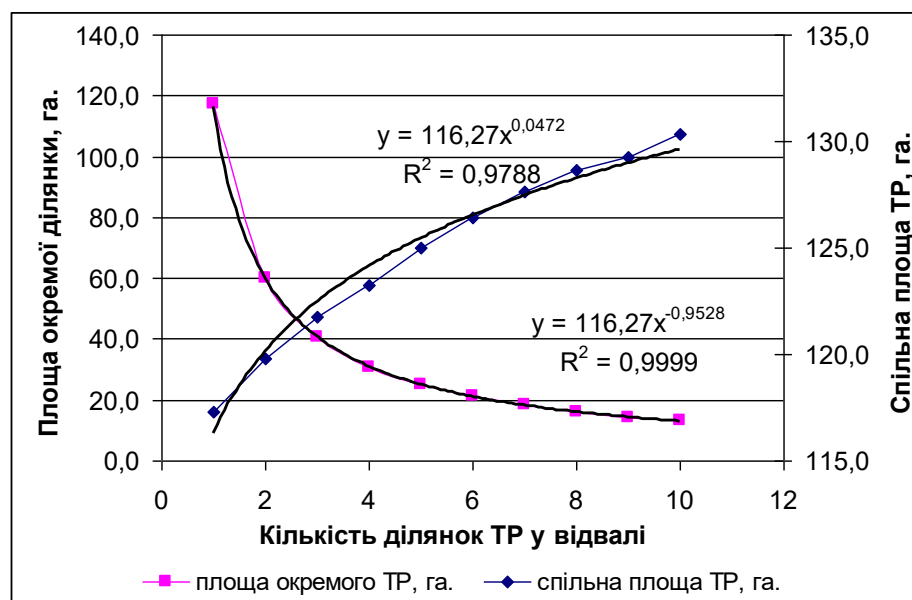


Рис. 5. Залежність площі окремих ділянок ТР і їх спільної площі від кількості ділянок за час експлуатації кар'єру при $H_{TP} = 20$ м

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 5) збільшення кількості ділянок ТР від 1 до 10 призведе до збільшення загальної площі ТР на 8,5 % з 117 до 130 га. Збільшення відбувається відповідно до ступневого рівняння $S = 116,27N_{TP}^{0,0472}$, яке дозволяє встановити площу зайняту усіма ТР при їх потужності 20 м і об'ємі сировини 22,3 млн м³.

Аналіз результатів залежностей (рис. 4, 5) показує, що розділення об'єму супутньої сировини для складування у декількох родовищах є неефективним через збільшення площі землі, необхідної для їх розміщення. Зі збільшенням потужності ТР, загальна площа необхідна для розміщення однакового об'єму сировини буде зростати, що пояснюється збільшенням площі ТР зайнятої укосами. З іншого боку складування усієї супутньої сировини в одній частині кар'єру є неефективним через значні відстані транспортування від вибою до ділянки ТР по мірі посування фронту гірничих робіт.

З метою встановлення ефективної кількості ТР для розміщення супутньої сировини протягом розробки кар'єру необхідно провести дослідження залежності показника середньозваженої відстані транспортування порід з вибою до ділянок ТР за виразом:

$$L_{CP,TP} = \frac{\sum_{i=1}^T \left(\frac{Q_K \cdot t_i}{h \cdot L_F} + \frac{L_F}{2} + L_{TP} \right)}{T}, \text{ м}, \quad (4)$$

де T – термін розробки родовища, років; i – період розробки, 1 рік; L_F – довжина фронту робіт, м; Q_K – річна продуктивність кар’єру, м³/рік; t – рік розробки родовища; h – потужність корисної копалини, м; L_{TP} – довжина техногенного родовища, м.

На основі визначення показника (4) встановлюється середньозважений об’єм гірничотранспортної роботи, який характеризує переміщення річного об’єму супутньої сировини $Q_{P.M}$, що складується у техногенному родовищі, на одиницю відстані (м³ · км). Для визначення цих параметрів використовується наступний вираз:

$$V_{CP,TP} = L_{CP,TP} \cdot Q_{P.M}, \text{ м}^3 \cdot \text{км}, \quad (5)$$

Як і в попередніх дослідженнях розглядаються ділянки TP потужністю 10 і 20 м, при цьому довжина фронту гірничих робіт кар’єру L_F , прийнята у розрахунках, складає 1500 м; потужність пласта корисної копалини h – 10 м; довжини основ техногенних родовищ прийняті відповідно до їх кількості (рис. 3). Після встановлення залежності середньозваженої транспортної роботи від кількості ділянок TP в кар’єрі, отримані результати порівнюються з показником загальної площі земель для розміщення TP. Результати виконаних розрахунків для $H_{TP} = 10$ м наведені на рис. 6.

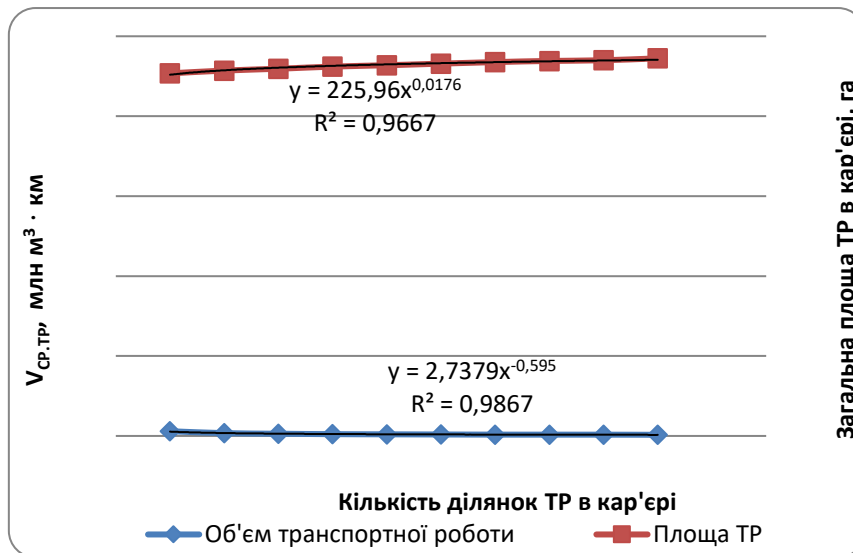


Рис. 6. Залежності середньозваженого об’єму транспортної роботи і площі ділянок TP від їх кількості за час експлуатації кар’єру при $H_{TP} = 10$ м

Як видно з графіків залежностей, представлених на рис. 6, зі збільшенням кількості TP в кар’єрі, середньозважений об’єм транспортної роботи зменшується. Ця залежність описується ступеневим рівнянням $V_{CP,TP} = 2,737N_{TP}^{-0,59}$, згідно з якого при збільшенні кількості ділянок TP від 1 до 10, об’єм транспортної

роботи на кар'єрі зменшується в чотири рази з 2,9 до 0,7 млн $\text{м}^3 \cdot \text{км}$. З іншого боку, як вже було встановлено раніше, збільшення кількості ділянок ТР призведе до необхідності залучення більшої площі земель для їх розташування. Відповідно до графіків (рис. 6) найбільш ефективним буде розміщення сировини на трьох ділянках, що забезпечить водночас зменшення транспортної роботи у два рази з 2,9 до 1,45, при цьому площа земель зайнята ТР збільшиться лише на 1,3% з 226,5 до 229,5 га.

Аналогічним чином були встановлені залежності середньозваженого об'єму транспортної роботи і загальної площі ділянок ТР в кар'єрі від їх кількості при $H_{TR} = 20$ м. Для цього окремо розраховувалися довжини ділянок ТР, відповідно до потужності 20 м. Результати отриманих залежностей наведено на рис. 7.

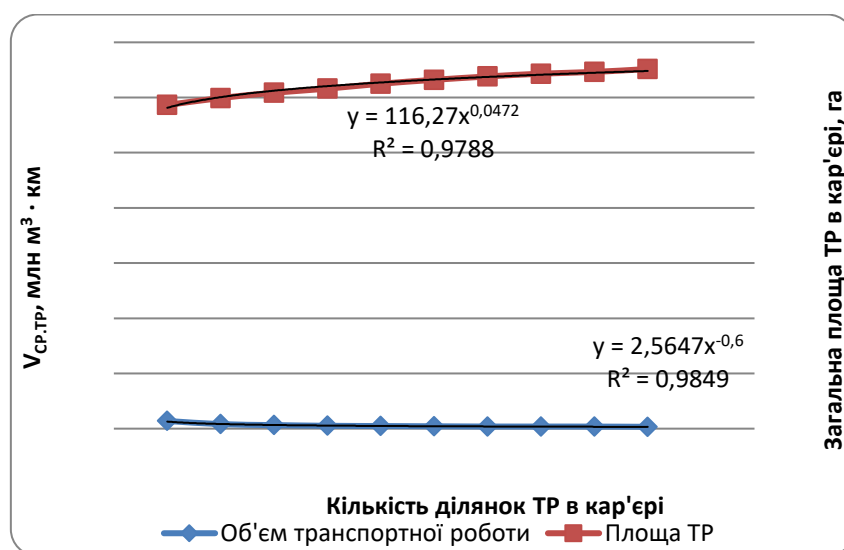


Рис. 7. Залежності середньозваженого об'єму транспортної роботи і площі ділянок ТР від їх кількості за час експлуатації кар'єру при $H_{TR} = 20$ м

Як і в попередньому дослідженні, з залежностей представлених на рис. 7 видно, що зі збільшенням кількості ділянок ТР, середньозважений об'єм транспортної роботи в кар'єрі зменшується, а залежність описується рівнянням $V_{\text{ср.тр.}} = 2,564N_{TR}^{-0,6}$. При розташуванні ТР на одній ділянці в кар'єрі об'єм транспортної роботи складає 2,8 млн $\text{м}^3 \cdot \text{км}$, у той час як на 10 ділянках – 0,7. Тобто ці показники майже тотожні з ТР потужністю 10 м. До того ж, відповідно до графіків (рис. 7) розміщення сировини на трьох ділянках ТР буде також найбільш ефективним. При цьому середньозважений об'єм транспортної роботи зменшиться у 2,15 рази з 2,8 до 1,3, а площа земель зайнята ТР збільшиться лише на 4% з 117 до 122 га.

Висновки. Встановлено, що зі збільшенням кількості ділянок ТР для складування однакового об'єму сировини впродовж експлуатації кар'єру, збільшення площі, необхідної для їх розміщення відбувається несуттєво. При розміщенні всього об'єму глиняної сировини з вміщуючих порід на одній ділянці ТР потужністю 10 м, його площа складе 226 га, у той час розміщення такого ж об'єму сировини у 10 ТР призведе до зростання сукупної площі зайнятої ними на 5% і

складе 237 га. У випадку складування сировини у ТР потужністю 20 м, необхідна площа для складування сировини на одній ділянці складе 117 га, у той час як на 10 ділянках – 130 га, що складає 8,5 %. Тобто при збільшенні потужності ТР, зростає ефективність складування сировини на одній ділянці.

Також проведені дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням кількості ТР, середньозважений об'єм транспортної роботи в кар'єрі зменшується в залежності від потужності техногенного родовища. При потужності ТР – 10 м, складування глиняної сировини в одному ТР в кар'єрі потребує виконання гірничотранспортної роботи у обсязі $2,9 \text{ млн м}^3 \cdot \text{км}$, у той час як її складування на десяти ділянках ТР – 0,7.

Відповідно до отриманих результатів встановлено, що розміщення супутньої сировини, упродовж терміну експлуатації кар'єру, найбільш ефективно на трьох ділянках ТР, що дозволить скоротити середньозважений об'єм транспортної роботи у 2 – 2,15 рази, а загальна площа земель зайнята ТР збільшиться лише на 1,3 – 4 %, в залежності від його потужності.

Перелік посилань

1. Dychkovskiy, R. E., Vladyko, O. B., Maltsev, D., & Cabana, E. C. (2018). Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 33(4). <https://doi.org/10.17794/rgn.2018.4.7>
2. 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>
3. 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>
4. 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. In *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ICSMGE18)*, Paris, France (pp. 943-946).
5. Engel, J., Mihok, J., Rybar, R., & Tyulenev, M. (2018). Defining the Main Parameters of Hydro-Dumping at Open Pits. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 41, p. 01004). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101004>
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. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 405, pp. 2427-2430). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.405-408.2427>
7. Wang, Z., Wang, J. G., & Lv, X. F. (2012). Stability analysis of water-filled dump slope under the couple effect of seepage and damage. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.658.2048&rep=rep1&type=pdf>
8. Wang, J., & Chen, C. (2017). Three dimensional back analysis for stability of slope dumped on weak basement. *Journal of China University of Mining & Technology*, (3), 4. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-ZGKD201703004.htm
9. Roy, I., Vyas, D., & Sengupta, S. (2014). A solution to dump slope stability problems of Tadkeshwar lignite opencast mine. In *5th Asian Mining Congress, The Mining Geological and Metallurgical Institute of India*. https://www.researchgate.net/publication/319529754_A_SOLUTION_TO_DUMP_SLOPE_STABILITY_PROBLEMS_OF_TADKESHWAR_LIGNITE_OPENCAST_MINE

АННОТАЦІЯ

Цель. Обоснование эффективных параметров техногенных месторождений размещенных на территории внутренних отвалов карьеров при разработке россыпных месторождений.

Методика исследования. Аналитический метод исследований применялся при установлении основных параметров техногенных месторождений типа внутренний и внешний отвал, с учетом их высоты и объема. Во время определения эффективного количества участков техногенных месторождений при разработке россыпного месторождения использовался графический метод исследований.

Результаты исследования. Подтверждено, что с увеличением количества участков техногенных месторождений для хранения попутного сырья от 1 до 10, общая площадь для их размещения увеличится на 5 – 8,5% в зависимости от высоты, в то время как объем транспортной работы сократится в 4 раза. Установленные параметры техногенных месторождений при разработке россыпных месторождений позволяют утверждать, что оптимальным количеством участков складирования попутного сырья вмещающих пород рудного пласта является 3 техногенных месторождения при их высоте от 10 до 20 м.

Научная новизна. Установлено влияние высоты техногенного месторождения на его площадь и длину при размещении потенциального сырья во внутреннем отвале карьера. Установлена зависимость площадей отдельных участков техногенного месторождения при расположении попутных полезных ископаемых месторождения в разных частях карьерного поля. Определено влияние количества участков техногенного месторождения на средневзвешенный объем транспортной работы за время эксплуатации карьера.

Практическое значение. Определено эффективное количество мест складирования попутного сырья в течение разработки россыпного месторождения. Разработана методика установления параметров отдельных участков техногенного месторождения и их общей площади за время эксплуатации карьера. Установлены объемы горнотранспортной работы при формировании разного количества техногенных месторождений во внутреннем отвале карьера.

Ключевые слова: открытая разработка, карьер, техногенное месторождение, отвал, объем горнотранспортной работы, попутное сырье

ABSTRACT

Purpose. Justification of the effective parameters of man-caused deposits located on the territory of pit internal dumps at the development of alluvial placer deposits.

Research methodology. The analytical research method was used to establish the main parameters of man-caused deposits such as internal and external dumps, taking into account their height and volume. During the determination of the effective number of man-caused deposits in the development of placer deposits, a graphical research method was used.

The results. It was confirmed that with an increasing of the man-caused deposits number for storing associated raw materials from 1 to 10, the total area for their placement will increase by 5 – 8.5% depending on the height, while the volume of haulage work will decrease by 4 times. The established parameters of man-caused deposits during the development of placer deposits allow to assert that the efficient number of storage sites for associated raw materials of the host rocks of the ore is 3 man-caused deposits with their height from 10 to 20 m.

Scientific novelty. The influence of the height of a man-caused deposit on its area and length was established when potential raw materials are placed in the internal dump of the pit. The dependence of the areas of individual man-caused deposits with the location of associated minerals of the deposit in different parts of the pit field has been established. The influence of the number of man-caused deposits locations on the weighted average volume of mining and haulage work during the operation of the pit has been determined.

Practical value. The efficient number of storage sites for associated raw materials during the development of a placer deposit has been determined. A method has been developed for determining the parameters of individual man-caused deposits and their total area during the pit operation. The volumes of mining and haulage work have been established during the formation of a different number of man-caused deposits in the internal dump of the pit.

Key words: *surface mining, pit, man-caused deposit, dump, volume of mining and haulage work, accompany raw materials*