

© Б.Ю. Собко<sup>1</sup>, О.В. Ложніков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, м. Дніпро, Україна

## **ВПЛИВ ФАКТОРА ВИКОРИСТАННЯ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ НА ІНВЕСТИЦІЙНУ ОЦІНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОЗРОБКИ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ**

© B. Sobko<sup>1</sup>, O. Lozhnikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## **THE DISTURBED LANDS USE FACTOR INFLUENCE ON THE TECHNOLOGICAL SCHEMES INVESTMENT ASSESSMENT AT THE MINING TITANIUM DEPOSITS**

**Мета.** Встановлення впливу використання гідромеханізованого видобувного комплексу на показники використання порушених земель при відкритій розробці обводнених титан-цирконієвих родовищ.

**Методика дослідження.** Аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні основних показників використання порушених земель при застосуванні гідромеханізованого видобувного комплексу на кар'єрі. При розрахунку впливу року розробки родовища на показники динаміки порушення земель і додаткового доходу підприємства від суборенди земель внутрішнього відвалу використовувався графічний метод досліджень.

**Результати дослідження.** Виконані розрахунки зі встановлення доцільності застосування гідромеханізованого видобувного комплексу в умовах розробки обводненого титан-цирконієвого родовища на прикладі кар'єру Мотронівського ГЗК показують, що площі порушених земель, непридатні до використання, суттєво зменшуються у порівнянні з технологічною схемою, у якій передбачено формування хвостосховища. Встановлено вплив надання в оренду земель внутрішнього відвалу на ефективність схеми з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу з урахуванням чистої наведеної вартості (NPV) протягом перших десяти років розробки родовища. Також доведено, що у другому десятиріччі розробки кар'єру, технологічна схема з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу має кращі показники NPV навіть без суборенди порушених земель.

**Наукова новизна.** Встановлені залежності чистої наведеної вартості проекту для технологічних схем з використанням земснарядів і гідромеханізованого видобувного комплексу від року розробки родовища дозволили порівняти схеми за показником терміну окупності інвестицій і рекомендувати найкращу. Встановлені залежності площі порушених земель і додаткового доходу підприємства від року розробки родовища дозволили виконати подальший розрахунок інвестиційної привабливості технологічної схеми з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу у період з 11 по 20 роки експлуатації кар'єру.

**Практичне значення.** Отримані результати досліджень необхідні при обґрунтуванні вибору технологічної схеми розробки обводненого титан-цирконієвого родовища із залученням гідромеханізованого видобувного комплексу з урахуванням фактору використання порушених земель внутрішнього відвалу кар'єра.

**Ключові слова:** відкрита розробка, кар'єр, обводнені родовища, гідромеханізований видобувний комплекс, порушені землі, чиста наведена вартість проекту

**Актуальність.** Розробка горизонтальних родовищ корисних копалин супроводжується порушенням великих площ землі, які десятиліттями не можуть бути рекультивовані й повернуті в дотехногенне використання. Найбільші площі порушення земель утворюються при розробці родовищ бурого вугілля, марганцевих і титано-цирконієвих руд. Площа гірничого відводу на таких родовищах може досягати тисячі гектар, а іноді перевищувати цей показник. Основною причиною цього є природа походження осадових родовищ, корисні копалини в яких знаходяться в шарі невеликої потужності з великою площею.

Перевагою розробки горизонтальних родовищ є можливість внутрішнього відвалоутворення, яке дозволяє істотно скоротити площі порушених земель при видобутку корисних копалин за рахунок складування розкритих порід у вироблений простір кар'єру. Тому площа порушених земель визначається сумою площ кар'єра і зовнішнього відвалу, який споруджується на етапі будівництва кар'єра при проведенні капітальної та розрізної траншеї.

Питання порушень земель стає особливо актуальним при розробці обводнених горизонтальних родовищ, на яких видобуваються титан-цирконієві мінерали. Розробка таких родовищ супроводжується процесом збагачення при добуванні важких мінералів з рудного пласта, в результаті чого утворюються відходи з вмещаючих порід, які розміщуються у хвостосховищах. Землі, зайняті хвостосховищами, довгий час не можуть бути повернуті у дотехногенне використання, а висихання хвостів триває довгі роки. У зв'язку з цим виникає питання оцінки ефективності технологічних схем розробки обводнених родовищ, які дозволяють відмовитися від споруди хвостосховища за рахунок спеціальних гідромеханізованих видобувних комплексів (ГДК), навіть якщо витрати на їх придбання приведуть до збільшення собівартості розробки корисних копалин. Особливо важливим завданням є встановлення області застосування технологічних схем із ГДК оскільки при відмові від формування хвостосховища, збільшення капітальних витрат на придбання ГДК може бути компенсовано додатковим доходом від використання порушених земель.

**Аналіз досліджень.** Питання раціонального використання земель, порушених гірничими роботами при розробці обводнених титано-цирконієвих родовищ, детально розглянуті в роботах [1, 2]. Особливу увагу приділено питанням поводження з хвостосховищами, які займають значну площу гірничого відводу, при цьому вони довгий час не дозволяють рекультивувати порушені землі та повернути їх в дотехногенне використання. В роботі [3] розглянуті питання формування хвостосховищ при розробці родовищ металів, де особлива увага приділена впливу видобутку важких фракцій металів на стійкість ґрунтів, що особливо важливо при розміщенні хвостосховищ на поверхні внутрішніх відвалів.

У дослідженнях [4, 5, 6] розглянуті питання поділу вмещаючих порід рудного пласта на кар'єрі з метою зменшення обсягів транспортування гірничої маси на збагачувальну фабрику, розташовану на борту кар'єра. В роботі [7, 8] виконано аналіз можливого негативного впливу хвостосховищ на роботу підприємства шляхом оцінки розробки родовищ кольорових металів на практиці.

Питання інвестиційної оцінки технологічних рішень пов'язаних із землекористуванням при розробці родовищ кольорових металів, розглянуті в роботах [9, 10]. Також встановлено доцільність нових напрямків використання порушених земель в господарській діяльності підприємств.

Дослідження, присвячені використанню техногенних земель для різних видів господарської діяльності, не пов'язаної з сільськогосподарським виробництвом, наведені в роботах [11, 12]. Як альтернативні варіанти використання земель розглядається суборенда для інших галузей промисловості, що спеціалізуються на виробництві альтернативної енергетики і потребують вільних площ землі для розміщення виробничих потужностей.

Аналіз виконаних досліджень підтверджує актуальність напрямків використання земель порушених гірничими роботами в альтернативній господарській діяльності, що дозволить підприємству отримувати додатковий дохід. Однак при обґрунтуванні вибору ефективної технології розробки обводненого титано-цирконієвого родовища виникає питання доцільності придбання ГДК, на якому може здійснюватися поділ вміщуючих порід рудного пласта в кар'єрі на важкі мінерали, пісок і глину. Це дозволить складувати їх окремо в різних частинах внутрішнього відвалу, тим самим відмовитися від формування зовнішнього і внутрішнього хвостосховища.

У зв'язку з цим необхідно встановити ефективну область застосування ГДК при розробці обводненого титано-цирконієвого родовища, з урахуванням додаткового доходу від використання порушених земель на яких за основним проектом повинно було розташовуватися хвостосховище.

Для встановлення впливу гідромеханізованого видобувного комплексу на показники використання порушених земель при розробці обводнених титано-цирконієвих родовищ необхідно вирішити такі завдання: встановити динаміку порушення земель гірничими роботами при використанні можливих технологічних схем розробки в залежності від року експлуатації кар'єра; визначити залежність вартості орендної плати підприємства за використання земель від року експлуатації кар'єра для різних схем розробки родовища; дослідити вплив фактора суборенди порушених земель на чисту приведену вартість проекту розробки; встановити залежність площі порушених земель і додаткового доходу підприємства (суборенда порушених земель) від року розробки родовища, на підставі яких встановити чисту приведену вартість проекту при можливих технологічних схемах по роках. При цьому концепція землекористування при відкритих гірничих роботах повинна базуватися на більш швидкому поверненні земель в дотехногенне використання або для інших цілей. Це дозволить уникнути виплат за високими ставками орендної плати при використанні земель для гірничого виробництва.

**Основний матеріал.** При розробці титано-цирконієвих родовищ корисних копалин відкритим способом основними об'єктами гірничого підприємства, які порушують землю, є: кар'єр, зовнішній відвал від будівництва капітальної та розрізний траншеї, а також зовнішнє хвостосховище, яке формується з хвостів збагачення на початковому етапі розробки кар'єру. Площа зовнішнього відвалу на

момент введення кар'єра в експлуатацію має постійну величину, в той час як зовнішнє хвостосховище збільшується на початковому етапі розробки кар'єру. Це триває до того моменту поки не з'явиться можливість розмістити хвостосховище на поверхні сформованого внутрішнього відвалу [5]. Після цього площа хвостосховища збільшується в міру розвитку фронту гірничих робіт (внутрішнього відвалу) без порушення додаткових земель.

Як відзначалося раніше, найбільш істотною є динаміка зростання порушення площі земель при розробці розсипних титано-цирконієвих родовищ. До того ж при формуванні хвостосховища на поверхні внутрішнього відвалу практично вся його площа буде зайнята протягом всього часу розробки кар'єру.

Виконані раніше дослідження зі встановлення інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ показали, що за критерієм чистої приведеної вартості проекту найбільш ефективними є дві схеми, в яких розробка рудного пласта виконується засобами гідромеханізації. При цьому найбільш ефективною є схема, в якій корисна копалина видобувається земснарядами, після чого у вигляді пульпи транспортується по трубопроводу на збагачувальну фабрику, що знаходиться на борту кар'єра, а відходи збагачувальної фабрики направляються у хвостосховище (схема ХХ). На другому місці за ефективністю знаходиться технологічна схема, в якій корисна копалина після видобутку земснарядом безпосередньо в кар'єрі розділяється на важку фракцію мінералів, а вміщуючі породи діляться на пісок і глину. Все це виконується за допомогою плавучого гідромеханізованого видобувного комплексу (схема ГДК), після чого важкі мінерали переміщуються на збагачувальну фабрику на борту кар'єра, пісок складається у внутрішньому гідровідвалі, а глина, після згущення, розміщується в техногенному родовищі.

Істотною перевагою технологічної схеми з ГДК є розподіл вміщуючих порід рудного пласта на пісок і глину, що дозволяє відмовитися або істотно знизити обсяги хвостів збагачення, а, отже, запобігти формуванню хвостосховища. На практиці це дозволить підвищити ефективність технологічної схеми з ГДК за рахунок використання порушених земель внутрішнього відвалу в економічній діяльності не пов'язаної з гірничими роботами.

Для обґрунтування цієї гіпотези необхідно розглянути динаміку порушення земель кар'єром при розробці обводнених титано-цирконієвих родовищ, на основі чого розрахувати витрати на оренду земель для гірничого виробництва.

При визначенні площі порушених земель під час розробки обводненого титано-цирконієвого родовища необхідно врахувати площу кар'єру, а також зовнішнього відвалу і хвостосховища. Значення площ цих об'єктів будуть відрізнятися для технологічних схем з формуванням хвостосховища та використанням ГДК. Основна відмінність полягатиме в розмірі площі зовнішнього хвостосховища у схемі без використання ГДК. Отже, для визначення динаміки порушення земель гірничого і земельного відводу по роках використовуються такі вирази:

$$\sum_{i=1}^n S_{D2i} = \sum_{i=1}^n S_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O_i} + \sum_{i=1}^n S_{T_i}, \text{ га}, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n S_{D4i} = \sum_{i=1}^n S_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O_i}, \text{ га}, \quad (2)$$

де  $S_{D2}$ ,  $S_{D4}$  – площа порушених земель в технологічних схемах з формуванням хвостосховища та використанням ГДК, відповідно, га;  $S_P$  – площа кар'єру, га;  $S_O$  – площа зовнішнього відвалу, га;  $S_T$  – площа зовнішнього хвостосховища, га.

Після визначення динаміки порушення земель при експлуатації кар'єра наступним етапом є встановлення інвестиційної привабливості експлуатації підприємства при схемах розробки родовища з формуванням хвостосховища та використанням ГДК з урахуванням показників використання порушених земель.

Застосування технологічної схеми розробки на прикладі кар'єру Мотронівського ГЗК з використанням ГДК в порівнянні з іншими схемами, дозволяє крім відмови від зовнішнього хвостосховища також відмовитися від формування хвостосховища на поверхні внутрішнього відвалу. За рахунок цього вся його поверхня з першого року розробки може бути рекультивована або передана в користування для інших видів економічної діяльності не пов'язаної з гірничими роботами. Для оцінки інвестиційної привабливості такого рішення необхідно виконати розрахунок, який включає в себе визначення витрат на оренду землі для виробництва гірничих робіт відповідно до наступного виразу:

$$\sum_{i=1}^n A_{R2i} = A \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O_i} + \sum_{i=1}^n S_{T_i} \right), \text{ га}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n A_{R4i} = A \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O_i} \right), \text{ га}, \quad (4)$$

де  $A_{R2}$ ,  $A_{R4}$  – орендна плата за землю гірничопромисловим підприємством при використанні технологічних схем (ХХ) і (ГДК), відповідно, млн грн;  $A$  – вартість оренди землі для проведення гірничих робіт, грн / га.

При виконанні розрахунків вартість оренди одного гектара землі приймалася середньозваженою за даними гірничопромислових підприємств на 2019 р в розмірі 25 000 грн / га [6]. Результати виконаних розрахунків по визначенню параметрів землекористування для умов розробки кар'єру Мотронівський ГЗК наведені в табл. 1 і 2.

На підставі отриманих результатів розрахунків (табл. 1 і 2) складені графіки залежності площі порушених земель від року розробки родовища на прикладі експлуатації кар'єра Мотронівського ГЗК (рис. 1).

Під час визначення вартості оренди землі при видобутку корисних копалин з використанням технологічної схеми, в якій застосовується ГДК необхідно враховувати той фактор, що в даний час техногенно порушені землі користуються високим попитом, наприклад, для розміщення електростанцій на альтернативних джерелах енергії через дефіцит вільних територій.

Таблиця 1

Параметри землекористування при розробці кар'єру Мотронівський ГЗК за технологічною схемою з формуванням хвостосховища (ХХ)

Рік розробки	Площа зовнішнього хвостосховища, га	Площа зовнішнього відвалу, га	Площа кар'єра, га	Площа внутрішнього відвалу, га	Посування фронту гірничих робіт, м	Площа внутрішнього хвостосховища, га	Площа порушених земель, га	Вартість оренди земель, млн грн.
1	36	82	66,0	0,0	180	0	184,0	4,6
2	72		100,2	34,2	360	0	254,2	6,4
3			134,4	68,4	540	6	288,4	7,2
4			168,6	102,6	720	31	322,6	8,1
5			202,8	136,8	900	56	356,8	8,9
6			237,0	171,0	1080	81	391,0	9,8
7			271,2	205,2	1260	106	425,2	10,6
8			305,4	239,4	1440	132	459,4	11,5
9			339,6	273,6	1620	157	493,6	12,3
10			373,8	307,8	1800	182	527,8	13,2

Таблиця 2

Параметри землекористування при розробці кар'єру Мотронівського ГЗК за технологічною схемою з використанням ГДК

Рік розробки	Площа зовнішнього хвостосховища, га	Площа зовнішнього відвалу, га	Площа кар'єра, га	Площа внутрішнього відвалу, га	Посування фронту гірничих робіт, м	Площа внутрішнього хвостосховища, га	Площа порушених земель, га	Вартість оренди земель, млн грн.
1	-	82	66,0	0,0	180	-	148,0	3,7
2			100,2	34,2	360		182,2	4,6
3			134,4	68,4	540		216,4	5,4
4			168,6	102,6	720		250,6	6,3
5			202,8	136,8	900		284,8	7,1
6			237,0	171,0	1080		319,0	8,0
7			271,2	205,2	1260		353,2	8,8
8			305,4	239,4	1440		387,4	9,7
9			339,6	273,6	1620		421,6	10,5
10			373,8	307,8	1800		455,8	11,4

На даний час найбільш поширеним напрямком використання земель, порушених гірничими роботами є розміщення сонячних електростанцій. Як приклад розглянуто функціонування сонячних електростанцій на поверхні відвалів марганцеворудних кар'єрів у м. Покров (Дніпропетровська обл.) [7].

Дефіцит вільних територій також пояснюється заборонаю використання земель сільськогосподарського призначення для розміщення сонячних електростанцій, в той час як техногенні землі кар'єрів задовольняють виробників електроенергії. Отже, при визначенні інвестиційної привабливості технологічних схем необхідно враховувати, що землі внутрішнього відвалу можуть бути передані в суборенду для розміщення на них сонячних електростанцій. З урахуванням цього фактора, розрахунок оренди землі для гірничого виробництва при технологічній схемі з використанням ГДК визначається відповідно до наступного виразу:

$$\sum_{i=1}^n A_{R4i} = A \cdot \left( \sum_{i=1}^n S_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O_i} - \sum_{i=1}^n S_{O.P_i} \right), \text{ га}, \quad (5)$$

де  $S_{O.P}$  – площа внутрішнього відвалу придатна для суборенди, га.

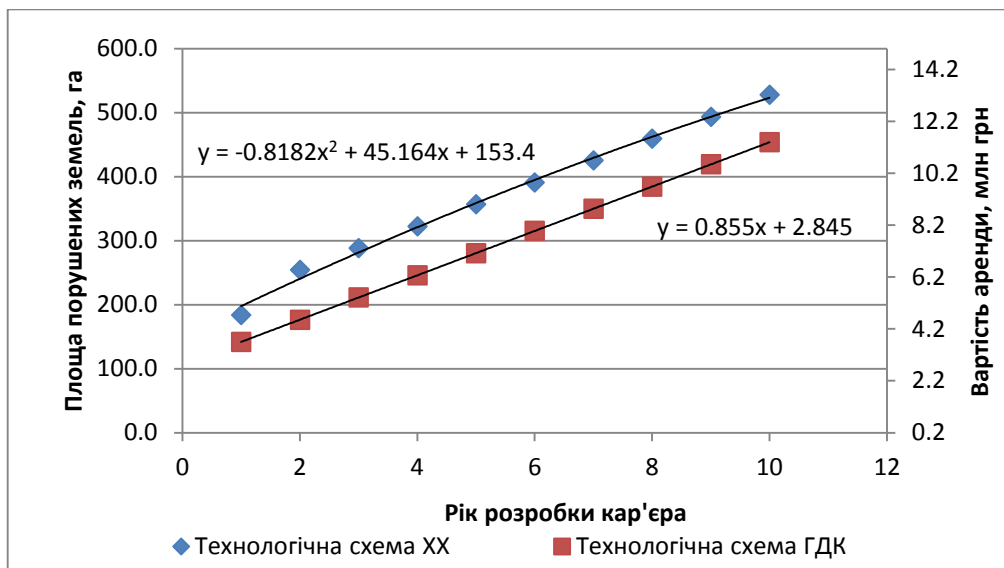


Рис. 1. Залежність площі порушених земель і вартості орендної плати від року розробки кар'єру Мотронівського ГЗК

При використанні виразу (5) слід зазначити, що визначення площі внутрішнього відвалу придатного для суборенди виконується за умов техніки безпеки розміщення машин і устаткування на поверхні відвалу після його усадки. Виконаний аналіз існуючих досліджень показав, що стабілізація поверхні відвалів настає через два роки після їх відсипання [7]. Отже, при розрахунках орендної плати, площа внутрішнього відвалу, потенційно придатна для суборенди ( $S_{O.P}$ ), приймається з урахуванням дворічної усадки. Результати розрахунків орендної плати за землю, з урахуванням доходу від суборенди, при розробці кар'єру Мотронівського ГЗК представлені на рис. 2.

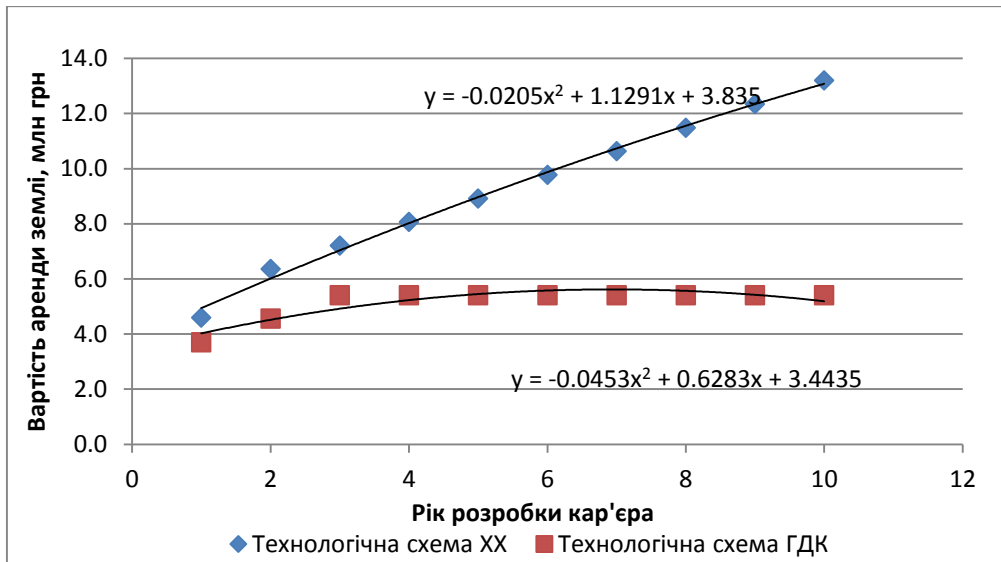


Рис. 2. Залежність площі порушених земель і вартості орендної плати від року розробки кар'єру Мотронівського ГЗК з урахуванням доходу від суборенди

Як видно з даних, представлених на графіках залежностей (рис. 2), технологічна схема з використанням ГДК є більш ефективною за показником витрат на орендну плату за користування землею при розробці кар'єру. Це пояснюється відсутністю зовнішнього хвостосховища, а також врахуванням суборенди порушених земель внутрішнього відвалу для інших видів господарської діяльності. У той час як при використанні технологічної схеми з внутрішнім хвостосховищем, орендна плата за використання земель пропорційно збільшується з першого року розробки в міру посування фронту гірничих і відвальних робіт.

У технологічній схемі з використанням ГДК збільшення орендної плати відбувається з першого по третій рік розробки кар'єру, після чого цей показник стабілізується. Причина полягає у тому, що площа порушених земель, яка тимчасово непридатна для здачі в оренду має постійний показник.

Згідно з даними залежностей (рис. 2), використання технологічної схеми із застосуванням ГДК дозволяє знизити загальні витрати на орендну плату за використання земель при роботі кар'єру від 0,9 до 7,8 млн грн / рік, в залежності від року розробки. Однак ефективність загальних економічних показників цієї технологічної схеми необхідно довести. Для вирішення цього питання необхідно виконати додаткові розрахунки інвестиційної привабливості технологічної схеми з використанням ГДК в порівнянні зі схемою, в якій формується внутрішнє хвостосховище.

При аналізі технологічних схем за показниками землекористування встановлено, що в схемі з використанням хвостосховища землі внутрішнього відвалу не придатні для господарської діяльності до закінчення гірничих робіт на кар'єрі. У той же час технологічна схема, в якій використовується гідромеханізований видобувний комплекс, дозволяє відмовитися від формування хвостосховища, тим самим використовувати порушені землі внутрішнього відвалу в інших галузях паралельно з виробництвом гірничих робіт на кар'єрі. За рахунок цього загалом



льний прибуток підприємства може збільшитися за рахунок суборенди. Для визначення річного прибутку підприємства при роботі за технологічною схемою з ГДК пропонується використовувати наступний вираз:

$$O_I = \sum_{i=1}^n Q_{П.П_i} \cdot A_{O_i} \cdot A_{R_i} \cdot A_{P_i} + \sum_{i=1}^n S_{O.P_i} \cdot A_i - \sum_{i=1}^n A_{Г_i}, \text{ млн у.о.} \quad (6)$$

де  $A_O$  – частка вмісту мінералів в руді, %;  $A_R$  – повнота вилучення мінералів з руди, %;  $A_P$  – середня ринкова ціна за товар (титан-цирконієвий концентрат), у.о./т;  $A$  – вартість оренди землі для альтернативного використання, у.о./га, відповідно;  $A_{Г}$  – річні витрати на роботу гірничо-збагачувального комбінату при видобутку титано-цирконієвих руд, млн у.о.

Після виконання розрахунку зі встановлення річного доходу гірничо-збагачувального комбінату за технологічною схемою з ГДК, виконується розрахунок чистої приведеної вартості проекту розробки родовища за методикою, запропонованою в роботі [5]. На підставі отриманих результатів розрахунків складені графіки, які описують період окупності інвестицій в розробку титано-цирконієвого родовища на прикладі розробки кар'єру Мотронівського ГЗК (рис. 3).

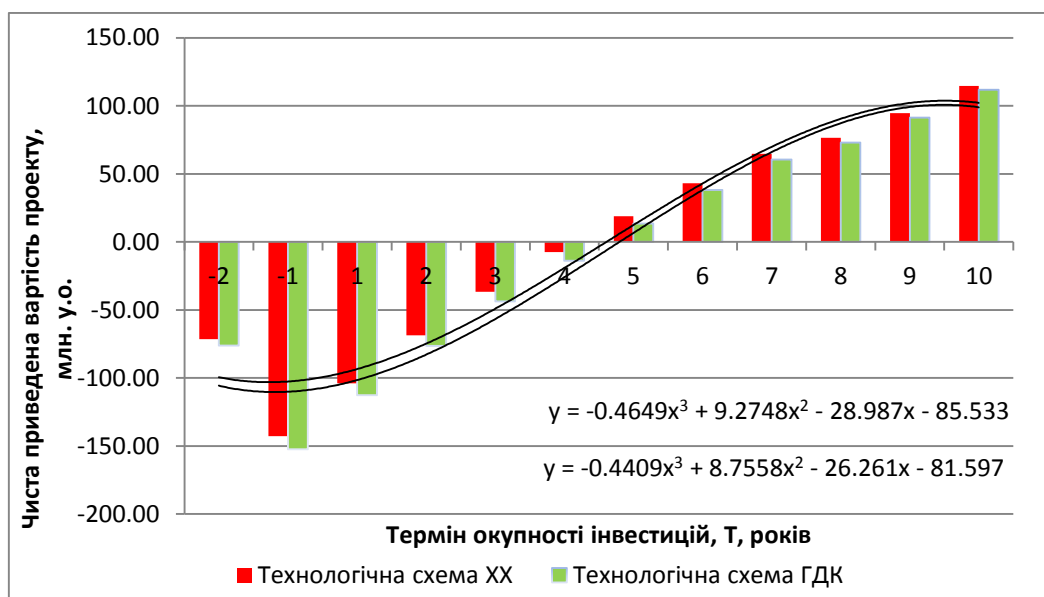


Рис. 3. Вплив фактора суборенди порушених земель на чисту приведену вартість NPV проекту

Як видно з графіків, представлених на рис. 3, технологічна схема розробки обводненого родовища з використанням ГДК, є менш ефективною, ніж схема з формуванням хвостосховища, навіть з урахуванням отримання додаткового прибутку від суборенди земель внутрішнього відвалу під час роботи кар'єра. Це пояснюється тим, що частка доходу від суборенди порушених земель становить всього лише 0,05 % в загальному доході роботи підприємства.

Детальний аналіз результатів досліджень показує, що перевага технологічної схеми з формуванням хвостосховища (ХХ) на ранньому етапі розробки родовища, досягається за рахунок відносно невеликих площ порушення, в тому числі і поверхні внутрішнього відвалу, зайнятої внутрішнім хвостосховищем, площа якого за 10 років збільшується зі 150 до 520 га. У зв'язку з цим була встановлена динаміка зростання площі порушених земель, які не можуть бути використані з метою надання у суборенду для розташування сонячних електростанцій, при розробці обводненого титано-цирконієвого родовища на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК за весь період його експлуатації (55 років) (рис. 4).

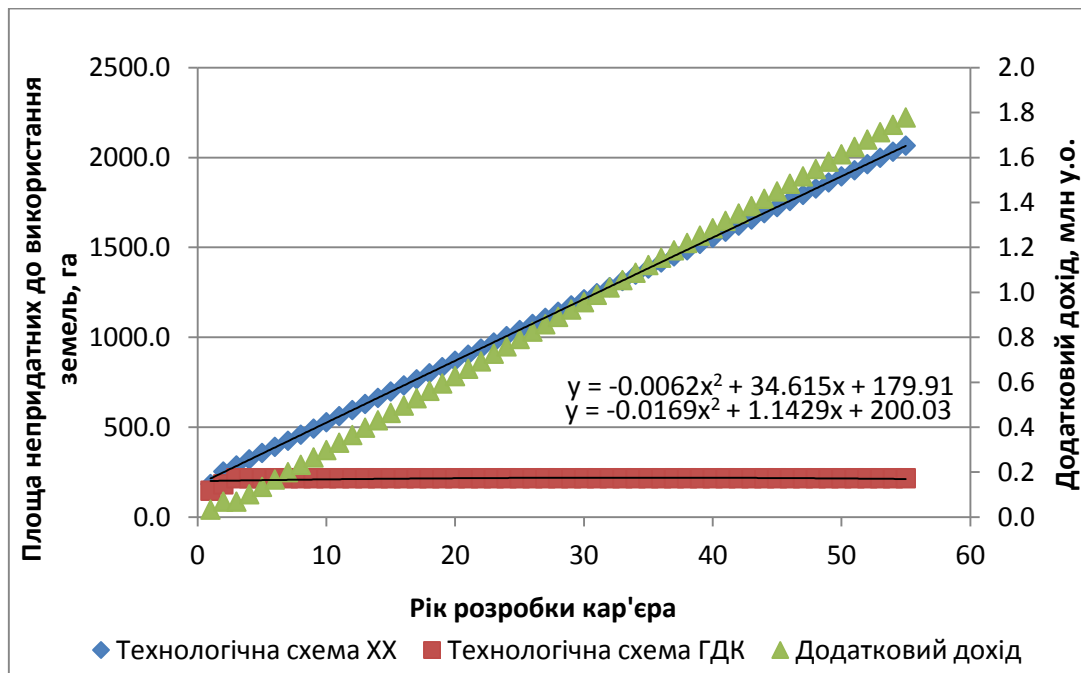


Рис. 4. Залежність площі порушених земель і додаткового доходу підприємства за рахунок суборенди порушених земель від року розробки родовища

Як видно з графіків залежностей, представлених на рис. 4, в технологічній схемі з використанням ГДК, показник площі земель зайнятої хвостосховищем, яка не може бути передана у суборенду, стабілізується на четвертому році розробки кар'єру. Це пояснюється тим, що порушені землі внутрішнього відвалу при використанні ГДК після дворічної усадки можуть бути здані в суборенду для розміщення сонячних електростанцій. Таким чином, додатковий дохід підприємства від суборенди землі, при використанні технологічної схеми розробки з використанням ГДК, може досягти 1,8 млн у.о. / рік на момент доопрацювання кар'єра.

Не дивлячись на ефективність технологічної схеми з використанням ГДК за показником орендної плати, отримані результати показують, що за критерієм загальної приведеної вартості проекту для умов розробки кар'єру Мотронівського ГЗК більш ефективною є схема з формуванням внутрішнього хвостосховища в період

першого десятиліття розробки кар'єру. У цьому зв'язку були виконані додаткові дослідження з розрахунку інвестиційної привабливості проекту з 11 по 21 роки розробки кар'єру. Цей період також обраний через те, що відбувається заміна обладнання, що підлягає списанню після амортизації, збільшується протяжність трубопроводів, що застосовуються в другій схемі для транспортування рудного піску на збагачувальну фабрику, розташовану на борту кар'єра. Результати розрахунку впливу року розробки родовища на чисту приведену вартість проекту розробки кар'єру Мотронівський ГЗК представлені на рис. 5.

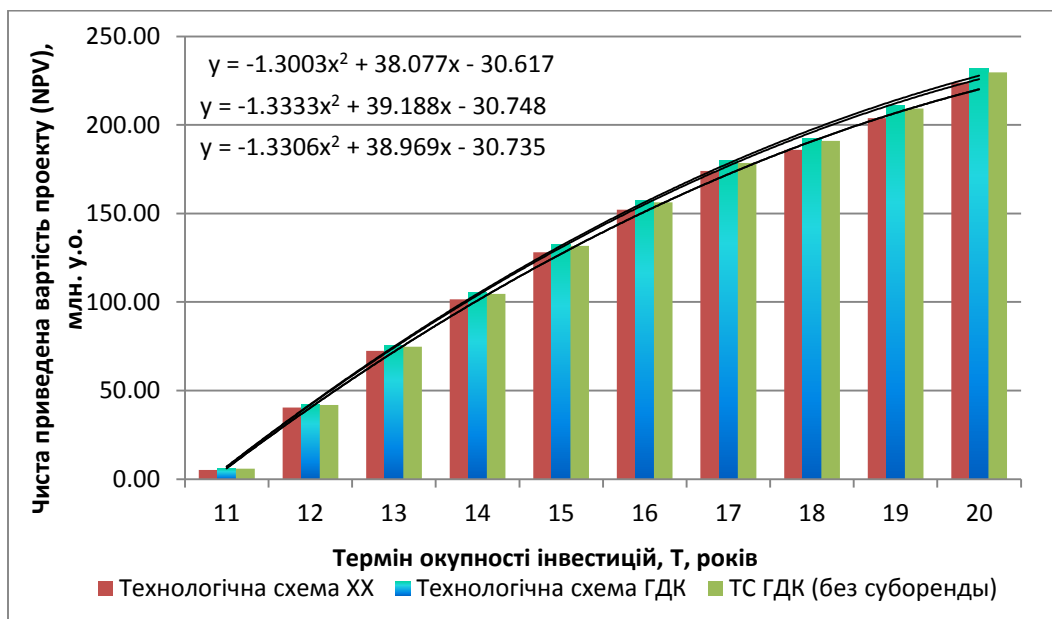


Рис. 5. Залежність чистої приведеної вартості проекту розробки кар'єру за технологічними схемами із застосуванням ГДК і формуванням хвостосховища (XX) з урахуванням суборенди порушених земель від року розробки родовища

Як видно з графіків залежностей, представлених на рис. 2, з 11 року розробки технологічна схема з ГДК є більш привабливою для інвестицій в порівнянні з іншою схемою. Це пояснюється тим, що капітальні витрати на придбання нового обладнання в двох схемах будуть приблизно рівними, оскільки не потрібна повторна покупка гідромеханізованого видобувного комплексу. Порівняльна характеристика показує, що навіть без суборенди порушених земель для господарської діяльності не пов'язаної з гірництвом, технологічна схема з ГДК на 5,8 млн у.о. ефективніше за схему з формуванням внутрішнього хвостосховища, за показником чистої приведеної вартості проекту.

У той же час, якщо врахувати ефект від суборенди порушених земель внутрішнього відвалу, показник наведеної вартості проекту схеми з ГДК зростає на 1,8 млн у.о. і перевищить показники схеми в якій формується внутрішнє хвостосховище на 7,6 млн у.о.

**Висновки.** Оцінка ефективності інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ з урахуванням фактора використання порушених земель показала, що основною перевагою використання

гідромеханізованого видобувного комплексу є скорочення порушених земель на 72 га при розміщенні зовнішнього хвостосховища, що дозволить скоротити витрати на оренду землі на 1,8 млн грн / рік.

Другою істотною перевагою технологічної схеми з використанням ГДК є можливість здачі в суборенду порушених земель внутрішнього відвалу до закінчення гірничих робіт на кар'єрі. В якості альтернативного варіанту використання, в даній роботі розглянута можливість розміщення на поверхні відвалів сонячних електростанцій. Це дозволить підприємству отримувати додатковий прибуток від суборенди порушених земель, який буде частково покривати орендну плату за користування гірничим відводом. Таким чином витрати на оренду землі при технологічній схемі з ГДК зменшаться на 0,8 – 5,5 млн грн, в залежності від року розробки у порівнянні зі схемою, в якій передбачено формування хвостосховища.

Для обґрунтування ефективності технологічної схеми з ГДК за критерієм чистої приведеної вартості проекту, встановлена залежність площі порушених земель відкритими гірничими роботами та додаткового доходу підприємства при суборенді порушених земель від року розробки родовища. Виконані дослідження показали, що не дивлячись на перевагу схеми з ГДК за показником витрат на оренду земель, за критерієм чистої приведеної вартості проекту, вона є менш ефективна ніж схема з формуванням хвостосховища з 1 по 10 рік розробки родовища. Однак, додаткові дослідження дозволили встановити, що з 11 по 20 рік розробки родовища, чиста приведена вартість проекту за технологічною схемою з ГДК, в якій враховується додатковий прибуток від суборенди порушених земель буде ефективніше на 7,6 млн у.о. ніж технологічна схема з внутрішнім хвостосховищем.

#### Перелік посилань

1. Abuodha, J. O. Z., & Hayombe, P. O. (2006). Protracted environmental issues on a proposed titanium minerals development in Kenya's south coast. *Marine Georesources and Geotechnology*, 24(2), 63-75.  
<https://doi.org/10.1080/10641190600704251>
2. Yin, G., Li, G., Wei, Z., Wan, L., Shui, G., & Jing, X. (2011). Stability analysis of a copper tailings dam via laboratory model tests: A Chinese case study. *Minerals Engineering*, 24(2), 122-130.  
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.10.014>
3. Yu, X., Li, Y., Zhang, C., Liu, H., Liu, J., Zheng, W., ... & Zhang, X. (2014). Culturable heavy metal-resistant and plant growth promoting bacteria in V-Ti magnetite mine tailing soil from Panzhihua, China. *PloS one*, 9(9), e106618.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106618>
4. Galvão, J. L. B., Andrade, H. D., Brigolini, G. J., Peixoto, R. A. F., & Mendes, J. C. (2018). Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. *Journal of Cleaner Production*, 200, 412-422.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.313>
5. Andrews, W. J., Moreno, C. J. G., & Nairn, R. W. (2013). Potential recovery of aluminum, titanium, lead, and zinc from tailings in the abandoned Picher mining district of Oklahoma. *Mineral Economics*, 26(1-2), 61-69.  
<https://doi.org/10.1007/s13563-013-0031-7>

6. Liu, Q., Liu, D., Liu, X., Gao, F., & Li, S. (2016). Research and application of surface paste disposal for clay-sized tailings in tropical rainy climate. *International Journal of Mineral Processing*, 157, 227-235.  
<https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.11.014>
7. Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., & Xu, Z. (2014). Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice. *Minerals Engineering*, 58, 113-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.01.018>
8. Bubnova, M. B., & Ozaryan, Y. A. (2016). Integrated assessment of the environmental impact of mining. *Journal of Mining Science*, 52(2), 401-409.
9. Mai, N. L., Topal, E., & Erten, O. (2016). Application of operations research in open pit mine planning and a case study in sinquyen copper deposit, Vietnam. *Горные науки и технологии*, (3), 22-28.  
<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2016-3-22-27>
10. Parameswaran, K. (2016). Sustainability initiatives at ASARCO LLC: a mining company perspective. *Metal sustainability: global challenges, consequences and perspective, 1st edn. Izatt RM (ed) Wiley*, 424-452.  
<https://doi.org/10.1002/9781119009115.ch18>
11. Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 281-291.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>
12. Velan, M., & Prasad, M. N. (2018). Neyveli Lignite Mine Waste Rehabilitation for Sustainable Development. In *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation* (pp. 347-370). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812986-9.00020-8>

#### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Установление влияния использования гидромеханизированного добычного комплекса на показатели использования нарушенных земель при открытой разработке обводненных титано-циркониевых месторождений.

**Методика исследования.** Аналитический метод исследований применялся при установлении основных показателей использования нарушенных земель при применении гидромеханизированного добычного комплекса на карьере. При расчете влияния года разработки месторождения на показатели динамики нарушения земель и дополнительного дохода предприятия от субаренды земель внутреннего отвала использовался графический метод исследований.

**Результаты исследования.** Выполнены расчеты по установлению целесообразности применения гидромеханизированного добычного комплекса в условиях разработки обводненного титано-циркониевого месторождения, на примере карьера Мотроновского ГОКа, показывают, что площади нарушенных земель, непригодные к использованию, существенно уменьшаются по сравнению с технологической схемой, в которой предусмотрено формирование хвостохранилища. Установлено, что эффективность схемы с использованием гидромеханизированным добывающего комплекса достигается во втором десятилетии разработки карьера даже без субаренды нарушенных земель.

**Научная новизна.** Установленные зависимости чистой приведенной стоимости проекта позволили сравнить технологические схемы по показателю срока окупаемости инвестиций и рекомендовать лучшую из них. Установленные зависимости площади нарушенных земель и дополнительного дохода предприятия от года разработки месторождения позволили выполнить дальнейший расчет инвестиционной привлекательности технологической схемы с использованием гидромеханизированным добывающего комплекса в период с 11 по 20 годы эксплуатации карьера.

**Практическое значение.** Полученные результаты исследований необходимы при обосновании выбора технологической схемы разработки обводненного титано-циркониевого месторождения с привлечением гидромеханизированного добычного комплекса с учетом фактора использования нарушенных земель на поверхности внутреннего отвала карьера.

**Ключевые слова:** *открытая разработка, карьер, обводненные месторождения, гидромеханизированный добычный комплекс, нарушенные земли, чистая приведенная стоимость проекта*

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** Establishment the influence of the hydromechanized mining complex on the disturbed lands use indicators during surface mining flooded titanium-zirconium deposits.

**Research methodology.** The analytical research method was used to establish the main indicators of the disturbed lands use at the hydromechanized mining complex implementation in a pit. The graphic research method was used at the calculating the influence of the deposit development year on the dynamics of land disturbance and the additional enterprise income from sublease of internal dump land.

**The results.** Calculations were made to establish the appropriateness of using a hydromechanized mining complex in the conditions of flooded titanium-zirconium deposit development, using the Motronovsky MPP pit as an example, show that the disturbed land unsuitable areas for use are significantly reduced compared to the technological scheme, which provides for the tailing dump formation. The influence of internal dump lands leasing on the efficiency of the scheme with hydromechanized mining complex according to net present value (NPV) during deposit development it the period of first ten years was established. It has also been proven that in the pit development second decade, a flow chart using a hydromechanized mining complex has better in NPV performance even without subleasing disturbed land.

**Scientific novelty.** The established dependencies of the project net present value made it possible to compare technological schemes in terms of the investments payback period and recommend the best of them. The established dependencies of the disturbed lands area and the additional income of the enterprise from the deposit development year allow to calculate the investment attractiveness of the technological scheme using a hydromechanical mining complex during the operation pit period from 11 to 20 years.

**Practical value.** The obtained research results are necessary to justify the selection of a technological scheme for developing a flooded titanium-zirconium deposit by hydromechanical mining complex, taking into account the disturbed lands use on the internal pit dump surface.

**Keywords:** *surface mining, pit, flooded deposits, hydromechanical mining complex, disturbed land, net present value of the project*