ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЄННЯ ОБВОДНЕНИХ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ

Б. Ю. Собко, О. В. Ложніков

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Визначено основні види супутніх корисних копалин, які можуть бути залучені у використання гірничопромисловим підприємством при розробці обводнених титан-цирконієвих родовищ. Виконано дослідження зі встановлення впливу технологічної схеми розробки родовища з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу на комплексне освоєння супутньої мінеральної сировини. Встановлено вплив комплексного освоєння титан-цирконієвого родовища на дохід підприємства при залученні у використання від 0 до 15% супутньої мінеральної сировини. Виконана порівняльна характеристика звичайної і приведеної вартості проекту (NPV) для існуючих технологічних схем залежно від частки залучення у використання супутньої сировини. Встановлена залежність чистої приведеної вартості проекту від частки залучення супутньої сировини підтвердила, що зі збільшенням частки залучення, вибір найбільш ефективної технологічної схеми буде змінюватися. Порівняння ефективності технологічних схем за показником періоду окупності інвестицій показують, що при залученні у використання від 12% супутньої сировини змінюється вибір найбільш ефективної схеми на користь використання гідромеханізованого видобувного комплексу в умовах розробки кар'єру Мотронівського ГЗК.

Ключові слова: відкрита розробка, кар'єр, земснаряд, гідромеханізований видобувний комплекс, вміщуючі породи, гідротранспорт, інвестиційна привабливість, період окупності.

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ОБВОДНЕННЫХ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Б. Е. Собко, А. В. Ложников

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

просп. Д. Яворницкого, г. Днепр, 49005, Украина. E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Определены основные виды попутных полезных ископаемых, которые могут быть вовлечены в использование горнопромышленного предприятия при разработке обводненных титано-циркониевых месторождений. Выполнены исследования по установлению влияния технологической схемы разработки месторождения с использованием гидромеханизированного добычного комплекса на комплексное освоение попутного минерального сырья. Установлено влияние комплексного освоения титано-циркониевого месторождения на доход предприятия при вовлечении в использование попутного сырья от 0 до 15 %. Выполнена сравнительная характеристика обычной и приведенной стоимости проекта (NPV) для существующих технологических схем в зависимости от доли вовлечения в использование попутного сырья. Установленная зависимость чистой приведенной стоимости проекта от доли вовлечения попутного сырья подтвердила, что при различной доле вовлечения, выбор наиболее эффективной технологической схемы будет изменяться. Сравнение эффективности технологических схем по показателю периода окупаемости инвестиций показывает, что при вовлечении в использование от 12 % попутного сырья изменяется выбор наиболее эффективной схемы в пользу использования гидромеханизированного добычного комплекса в условиях разработки карьера Мотроновского ГОКа.

Ключевые слова: открытая разработка, карьер, земснаряд, гидромеханизированный добычный комплекс, вмещающие породы, гидротранспорт, инвестиционная привлекательность, период окупаемости

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Завдання вибору ефективної технологічної схеми розробки обводненого розсипного родовища ускладнюється у разі видобування супутніх корисних копалин (СКК) і їх реалізації гірничодобувним підприємством. Ці рішення залежать від кількості видів СКК у родовищі, їх цінності, розташуванні в гірському масиві та ін.

Отримання доходу від видобутку СКК можливо при внесенні змін в технологічну схему розробки кар'єру, що, як правило, супроводжується збільшенням експлуатаційних, а в деяких випадках капітальних витрат. Вони пов'язані зі зменшенням продуктивності виймально-навантажувального обладнання, оскільки селективна розробка СКК передбачає зменшення висоти уступів до потужності шару супутньої сировини. У тому випадку, коли шар СКК ста-

новить менше 4,6 висоти черпання екскаватора ($H_{ч.у}$) необхідно залучати додаткове мобільне обладнання, що призводить до збільшення капітальних витрат. Тому без детального визначення всіх перерахованих факторів практично неможливо зробити попередні висновки про доцільність залучення у використання СКК при розробці обводнених розсипних родовищ. Для вирішення цього завдання необхідно виконати розрахунок інвестиційної привабливості технологічних схем, в якому буде врахований фактор залучення СКК в роботу гірничодобувного підприємства.

Питання видобутку СКК при розробці родовищ корисних копалин детально вивчені в роботах [1, 2]. Встановлено, що селективний видобуток СКК передбачає внесення коригувань в проект розробки родо-

вища, а також внесення змін у спеціальний дозвіл для здійснення видобутку супутніх видів сировини. Це пов'язано з тим, що гірська маса, яка представлена СКК без відповідної документації, вважається відходами виробництва (розкритими породами), які не можуть бути використані у промисловості, а, отже, розміщуються у відвалах кар'єра. В роботі [3] встановлено залежності продуктивності виймально-навантажувального обладнання циклічної та безперервної дії від потужності шару супутньої сировини. Встановлено, що у випадку, коли шар СКК менше ніж мінімально допустима висота уступу екскаватора, його продуктивність може зменшуватися в кілька разів, тому доцільним є використання додаткового мобільного обладнання [4].

Виконаний аналіз наукових праць свідчить, що видобуток супутньої сировини має ряд переваг і недоліків, а прийняття рішення щодо його доцільності це комплексне завдання, вирішення якого може мати різні результати в залежності від гірничо-геологічних умов залягання родовища, типу обладнання, яке використовується на кар'єрі, а також наявності регіонального споживача сировини [5].

Аналіз існуючих наукових робіт показує, що використання супутньої сировини може внести корективи у прийняття рішень при оцінці інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених розсипних родовищ. В першу чергу це відноситься до технологічних схем, в яких видобуток супутньої сировини здійснюється вже наявним обладнанням. Якщо в схемі присутнє гірничодобувне обладнання здатне виконувати роздільний видобуток супутньої сировини, це матиме позитивний вплив на користь її вибору.

До такого обладнання може відноситися гідромеханізований видобувний комплекс, використання якого пропонується в четвертій технологічній схемі розробки кар'єру Мотронівського ГЗК [6]. Видобуток рудного пласта в цій схемі проводиться земснарядями, після чого виконується поділ вміщаючих порід на пісок і глину всередині гідромеханізовано-

го видобувного комплексу, який знаходиться в кар'єрі. Оскільки виконані раніше розрахунки з визначення інвестиційної привабливості технологічних схем показали, що дана схема є другою за ефективністю для інвестування, включення в розрахунок прибутку від використання супутньої сировини може змінити її пріоритет в кращу сторону.

Відповідно до зазначених вимог сформульована *мета роботи*, яка полягає у встановленні інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводненого розсипного родовища з урахуванням фактора залучення у використання супутньої сировини. Для її вирішення необхідно розробити методику розрахунку, яка буде враховувати основні переваги та недоліки запропонованого рішення.

До переваг використання супутньої сировини відноситься збільшення доходів від продажу СКК, а також зменшення відвальних порід (відходів). До недоліків видобутку СКК відноситься: можливе зниження продуктивності обладнання при селективному видобутку шарів супутньої сировини невеликої потужності, зміна витрат на транспортування гірської маси при збільшенні відстані від вибою до місця розвантаження, додаткові витрати в разі необхідності залучення допоміжного виймально-навантажувального обладнання. Проведення досліджень базується на розробленій раніше методиці визначення інвестиційної привабливості технологічних схем відпрацювання обводнених родовищ [7].

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. При розробці обводненого розсипного родовища необхідно встановити основні види супутньої сировини, потребу в них, а також оцінити ринкову вартість кінцевого продукту для визначення доцільності його подальшої реалізації. Виконання досліджень проводилося для умов розробки кар'єру Мотронівського ГЗК, в зв'язку, з чим був виконаний аналіз видів супутньої сировини у розкритих і вміщаючих породах рудного пласта [8], після чого зроблено оцінку їх потенційного видобутку (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристика супутньої сировини у розкритих і вміщаючих породах рудного пласта при розробці кар'єру Мотронівського ГЗК

№ уступу	Середня потужність шару, м	Види порід	Супутня сировина	Частка сировини в уступі	Доля сировини у гірській масі, %	Річний видобуток гірської маси, млн м ³
Уступ 1	2,9	Лесовидні суглинки	–		4,32	0,7
Уступ 2 – 3	25	Четвертинні суглинки і червоно-бурі глини	–		37,26	6,0
Уступ 4	12	Гіпсова глина	Глина	100 %	17,88	2,9
Уступ 5	16	Сарматський пісок і глина			23,85	3,9
			Пісок	80 %	19,08	3,1
			Глина	15 %	3,58	0,6
Уступ 6	11,2	Рудний пласт			16,69	2,7
			Пісок	80 %	13,35	2,2
			Глина	15 %	2,50	0,4
Разом:	67,1				100,00	16,2

Аналіз даних гірничо-геологічних умов, представлених в табл. 1 дозволяє встановити, що основні запаси супутньої сировини знаходяться в масиві 4-го і 5-го уступів, а також у вміщаючих породах рудного пласта. Потенційною сировиною також можуть бути породи 1, 2 і 3 уступів, проте їх застосування ускладнюється низьким попитом на суглинки при виготовленні будівельних матеріалів, а також тим, що четвертинні суглинки і червоно-бурі глини частково перемішані, що вимагає додаткових витрат на їх розділення.

Слід зазначити, що супутня сировина, що видобувається на 4 і 5 уступах, може видобуватися у кожній з чотирьох розглянутих технологічних схем розробки обводненого розсипного родовища. Це пов'язано з тим, що в будь-якій вказаній схемі, їх розробка виконується однаковою обладнанням: гідравлічними екскаваторами або драглайнами з навантаженням в автосамоскиди.

Під час розрахунку інвестиційної привабливості основну відмінність має четверта технологічна схема при розробці рудного пласта. У даній схемі, на відміну від інших, вміщуючі породи рудного пласта відокремлюються від важкої фракції рудних мінералів в межах кар'єру за допомогою гідромеханізованого видобувного комплексу. Після цього піщано-глиниста суміш розділяється на пісок і глину і може

використовуватися у промисловості, як супутня сировина. У той же час в технологічних схемах 1 – 3, піщано-глиниста суміш, після відділення від важких фракцій розміщується у хвостосховищі та не представляє інтересу для подальшого залучення в розробку.

При виконанні розрахунків зі встановлення ефективності використання супутньої сировини при розробці кар'єру розглядалося три варіанти. У першому передбачалося використання 5% супутньої сировини з розкривних уступів і рудного пласта (табл.1), у другому і третьому відповідно – 10%, 15%. При цьому в розрахунках приймалася однакова частка залучення супутньої сировини, як розкривних уступів, так і вміщаючих порід рудного пласта. Однак видобуток супутньої сировини з рудного пласта буде здійснюватися лише в 4 технологічній схемі, оскільки тільки в ній передбачається поділ піщано-глинистої суміші на пісок і глину за допомогою гідромеханізованого видобувного комплексу, розташованого в кар'єрі.

Вихідні дані щодо обсягів можливого залучення у використання супутньої сировини для розрахунку інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводненого розсипного родовища на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Варіанти можливого залучення супутньої сировини з розкривних і вміщаючих порід рудного пласта на прикладі Мотронівського ГЗК за 12 років роботи кар'єра

Показники	Рік розробки		Разом
	-1, -2	1, 2, ..., 10	
Продуктивність по руді, млн м ³	0,00	2,70	27,00
Розкривні породи, млн м ³	15,00	15,00	180,00
Супутня сировина			
Технологічні схеми 1-3			
Сарматський пісок, млн м ³			
5 %	0,15	0,15	1,65
10 %	0,31	0,31	3,41
15 %	0,46	0,46	5,06
Глина червоно-бура, млн м ³			0
5 %	0,17	0,17	1,87
10 %	0,35	0,35	3,85
15 %	0,52	0,52	5,72
Технологічна схема 4			
Сарматський пісок, млн м ³			
5 %	0,26	0,26	2,86
10 %	0,52	0,52	5,72
15 %	0,79	0,79	8,69
Глина червоно-бура, млн м ³			0
5 %	0,19	0,19	2,09
10 %	0,39	0,39	4,29
15 %	0,58	0,58	6,38

На підставі встановлених вихідних даних, у дослідженнях визначається дохід гірничодобувного підприємства з урахуванням супутньої сировини для подальшого розрахунку інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводненого родовища. При цьому встановлюється чиста наведена вартість проекту NPV з урахуванням доходів від продажу супутньої сировини. Вираз для визначення річних доходів підприємства при реалізації основного і супутніх корисних копалин можна записати у наступному вигляді:

$$O_i = \sum_{i=1}^n Q_{П.И.і} \cdot A_{O_i} \cdot A_{R_i} \cdot A_{P_i} + \sum_{i=1}^n Q_{СКК1і} \cdot A_{R1i} \cdot A_{P1i} + \sum_{i=1}^n Q_{СКК2і} \cdot A_{R2i} \cdot A_{P2i} - \sum_{i=1}^n A_{Г_i} \quad (1)$$

Таблиця 3 – Річний дохід підприємства від реалізації основного і супутніх корисних копалин при різній частці їх залучення у видобуток

Вид мінеральної сировини	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
	Дохід, млн у.о.			
Основна корисна копалина	72,90			
5 % супутня сировина	2,48		3,35	
10 % супутня сировина	4,96		6,70	
15 % супутня сировина	7,45		10,04	

Аналіз результатів розрахунків наведених в табл. 3 показує, що найбільш ефективною з точки зору використання супутньої сировини при будь якій частці залучення є четверта технологічна схема. Це пояснюється тим, що застосовуваний у ній гідромеханізований видобувний комплекс з поділом вміщуючих порід на пісок і глину, дозволяє отримувати супутню сировину з високим ступенем очищення. Технологічні схеми 1 – 3 мають однакові показники видобутку супутньої сировини через те, що вміщуючі породи рудного пласта (піщано-глиниста суміш) після збагачення направляються на хвостосховище і надалі не використовуються в якості супутньої сировини, тому вона видобувається лише на розкривних уступах.

Оскільки виконані раніше дослідження [9] показали, що найбільш ефективною є друга технологічна схема, в якій розробка рудного пласта виконується земснарядами і транспортується на збагачувальну фабрику, розташовану на борту кар'єра, основним завданням цих досліджень є отримання нових показників інвестиційної привабливості з урахуванням кореляції прибутку підприємства від використання супутньої сировини. Врахування цього показника змінить результати отриманої раніше оцінки ефективності технологічних схем, оскільки в деяких із них видобувається різний обсяг супутньої сировини.

При виконанні розрахунків основною метою було встановлення мінімально необхідного обсягу залучення супутньої сировини у використання гірничо-збагачувальним комбінатом для поліпшення показників інвестиційної привабливості четвертої технологічної схеми з поділом вміщуючих порід за допомогою гідромеханізованого комплексу.

де A_O – відсоток вмісту мінералів в руді, %; A_R – повнота вилучення мінералів з руди, %; A_P – середня ринкова ціна за товар (титан-цирконієвий концентрат), у.о. / т; $Q_{СКК1}$ – видобуток глини, млн.м³/ рік; $Q_{СКК2}$ – видобуток піску, млн. м³/рік; A_{R1} і A_{R2} – повнота вилучення піску і глини, відповідно, %; A_{P1} і A_{P2} – середня ринкова вартість піску і глини, 4,4 і 5,6 у.о./ т, відповідно; A_G – річні витрати на роботу гірничо-збагачувального комбінату при видобутку титано-цирконієвих руд, млн у.о.

Визначення доходів підприємства від реалізації основного і супутніх корисних копалин при розробці обводненого розсієного родовища на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК наведені в табл. 3.

Після визначення річного доходу від розробки основної та супутньої сировини на кар'єрі Мотронівського ГЗК виконується визначення витрат на роботу гірничо-збагачувального комбінату (A_G). У раніше проведених дослідженнях [6] встановлені річні витрати на роботу гірничо-збагачувального комбінату при видобутку і переробці основної корисної копалини. З теорії комплексного освоєння родовищ корисних копалин [9] відомо, що витрати на розробку супутньої сировини збільшуються в тому випадку, коли потужність пласта СКК, який видобувається селективно є меншою за допустиму, становить 4,6 Н_{ч.у} (висоти черпання екскаватора).

Також вартість видобутку супутньої сировини може збільшуватися при необхідності залучення додаткового обладнання. Таке обладнання застосовується в 4 технологічній схемі та представлено гідромеханізованим видобувним комплексом. Даний комплекс застосовується з метою поділу піщано-глинистої суміші на окремі породи з подальшим розміщенням їх у відвалі та техногенному родовищі, що дозволяє уникнути необхідності формування зовнішнього і внутрішнього хвостосховища [6]. Оскільки капітальні та експлуатаційні витрати на функціонування комплексу вже були враховані раніше, собівартість видобутку супутньої сировини з вміщуючих порід рудного пласта не зміниться і буде відповідати встановленим раніше показниками.

Видобуток супутньої сировини з розкривних уступів 4 і 5 (табл. 1), за попередніми розрахунками також не призведе до збільшення собівартості роботи кар'єру, оскільки потужність розкривних уступів з супутньою сировиною значно перевищує 4,6 Н_{ч.у}

гідравлічних екскаваторів CAT 6018. На практиці це призводить до того, що при видобутку супутньої сировини, продуктивність екскаваторів не буде зменшуватись, а, отже, не потрібно залучати додаткове виймально-навантажувальне устаткування для забезпечення продуктивності кар'єру.

Оскільки при стандартній схемі, транспортування розкритих порід здійснюється автомобільним транспортом у внутрішній відвал на відстань 2,5 км, зміна маршруту переміщення супутньої сировини в тимчасовий склад на борту кар'єра не призведе до збільшення відстані транспортування. З цього випливає, що витрати на переміщення супутніх корисних копалин з розкритих уступів у тимчасові склади (споживачеві) не перевищуватимуть встановлені раніше витрати на переміщення порід розкриття у внутрішній відвал.

Таблиця 4 – Результати розрахунку звичайної (V) і приведеної вартості проекту (NPV) при розробці обводненого титан-цирконієвого родовища із використанням СКК за період 12 років

Частка залучення супутньої сировини	Технологічна схема 1, млн у.е.		Технологічна схема 2, млн у.е.		Технологічна схема 3, млн у.е.		Технологічна схема 4, млн у.е.	
	V	NPV	V	NPV	V	NPV	V	NPV
0%	236,9	82,7	275,2	114,6	269,7	107,5	275,8	111,3
5%	256,2	95,1	294,5	127,1	289,0	120,0	301,8	128,1
10%	275,5	107,6	313,8	139,5	308,3	132,5	327,9	144,9
15%	294,8	120,1	333,1	152,0	327,6	145,0	353,9	161,8

Як видно з результатів, представлених в табл. 4, ефективність технологічних схем значно змінює свої показники при залученні супутньої сировини в розробку. Особливе збільшення звичайної і чистої приведеної вартості проекту спостерігається в четвертій технологічній схемі через застосування гідромеханізованого видобувного комплексу. На підставі результатів проведених розрахунків (табл. 4) складено графіки залежності чистої приведеної вартості проекту від частки залучення супутньої сировини (рис. 1).

Рисунок 1 – Залежність чистої приведеної вартості проекту (NPV) від частки залучення супутньої сировини при різних технологічних схемах розробки кар'єру Мотронівського ГЗК

Отже, при виконанні розрахунків з визначення інвестиційної привабливості технологічних схем з використанням супутньої сировини в роботі гірничодобувного підприємства приймаються результати розрахунків капітальних і експлуатаційних витрат розробки кар'єру Мотронівського ГЗК, які були раніше встановлені у роботі [10].

Під час проведення досліджень для встановлення залежності чистої приведеної вартості проекту розробки гірничодобувного підприємства (при ставці дисконту 10%) від частки залучення супутньої корисних копалин для чотирьох технологічних схем розробки обводненого розсипного титан-цирконієвого родовища виконано 12 варіантів розрахунків, які враховують 5%, 10% і 15 % залучення у використання супутньої сировини (табл. 4).

Встановлені залежності чистої приведеної вартості проекту від залучення у використання супутньої сировини при розробці обводненого титан-цирконієвого родовища на прикладі кар'єру Мотронівського ГЗК показують, що технологічна схема 4 є найефективнішою при залученні більше 4% супутньої сировини з розкритих і зміщаючих порід. При 15% залученні супутньої сировини технологічна схема 4 має найкращий показник чистої приведеної вартості, який на 6,4% перевищує показники 2 схеми, на 11,6% – третьої і на 34,7% – першої. Показники першої і третьої схеми також поліпшуються при залученні супутньої сировини, однак, як і раніше цього не достатньо, щоб бути конкурентоспроможними.

Для підтвердження ефективності четвертої технологічної схеми також виконано ряд досліджень зі встановлення періоду окупності інвестицій. Для цього розглянуто чотири технологічні схеми з діапазоном частки видобутку супутньої сировини від 0 до 15% при розробці кар'єру. Та схема, в якій мінімальний період окупності інвестицій дозволить швидше за все повернути їх інвестору, однак вона не гарантує йому максимальний прибуток. На рис. 2 представлені результати розрахунків періоду окупності інвестицій для чотирьох технологічних схем з різною часткою залучення супутньої сировини.

Як видно з графіків, представлених на рис. 2, періоди окупності всіх технологічних схем знаходяться в діапазоні 3,5 – 5,5 років. При цьому близьке

розташування графіків між собою не дозволяє зроби-ти точне визначення найбільш ефективної схеми.

Для вирішення цього завдання виконано апроксимацію побудованих графіків (рис. 2), після чого знайдені коріння кубічних рівнянь. Результати роз-

рахунків з визначення терміну окупності інвестицій в розробку обводненого титано-цирконієвого родовища на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК з залученням у використання супутньої сировини представлені в табл. 5.

Таблиця 5 – Період окупності інвестицій в розробку обводненого титано-цирконієвого родовища із залученням СКК на прикладі кар'єра Мотронівського ГЗК

Частка залучення СКК, %	Період окупності інвестицій, роки			
	Технологічна схема 1	Технологічна схема 2	Технологічна схема 3	Технологічна схема 4
0	6,58	5,56	5,86	5,78
5	6,27	5,28	5,79	5,42
10	5,98	5,08	5,30	5,08
15	5,70	4,79	5,07	4,77

Рисунок 2 – Період окупності інвестицій (Т) в розробку кар'єру Мотронівського ГЗК при залученні супутньої сировини від 0 до 15%: 1, 2, 3, 4 – технологічні схеми

На підставі результатів розрахунків, наведених в табл. 5, побудовані графіки залежності періоду окупності інвестицій в розробку родовища від частки залучення супутніх корисних копалин у використанні для кожної з розглянутих технологічних схем (рис. 3).

Як видно з графіків залежностей, представлених на рис. 3, кращими технологічними схемами є 2 і 4. При цьому технологічна схема 2 є кращою за показником періоду окупності інвестицій за умови залучення супутньої сировини до 12,5%. При збільшенні цього показника, найбільш ефективною стає четверта технологічна схема, з періодом окупності 4,9 років. Перша схема є найменш привабливою для

інвестування, однак при залученні 15% супутньої сировини, її показники перевищують період окупності третьої та четвертої схем, за умови, що в них буде відсутній її видобуток. Таким же чином показники третьої технологічної схеми при залученні більше 8% супутньої сировини будуть краще показників усіх розглянутих схем без залучення у використання супутньої сировини.

Рисунок 3 – Вплив частки залучення супутніх корисних копалин у використання на період окупності інвестицій для 1 – 4 технологічної схеми

ВИСНОВКИ. Виконані дослідження зі встановлення доцільності залучення у використання супутньої сировини при розробці обводнених родовищ титан-цирконієвих родовищ показали істотний вплив фактора видобутку супутніх корисних копалин на роботу гірничодобувного підприємства при оцінці інвестиційної привабливості. Встановлено, що частка залучення супутньої сировини має прямий вплив на чисту приведену вартість проекту. При збільшенні частки розробки супутньої сировини від 0 до 15%, чиста приведена вартість проекту збільшується від 37 до 50 млн у.о. в рік, що становить 32 – 45 % від загальних доходів гірничодобувного підприємства, в залежності від технологічної схеми.

Визначено, що ефективність застосування гідромеханізованого видобувного комплексу з поділом вміщуючих порід на пісок і глину за критерієм чистої приведеної вартості проекту є максимальною в разі залучення в розробку від 4% супутньої сировини. При розрахунку періоду окупності інвестицій в розробку родовища встановлено, що найшвидше окупиться друга технологічна схема, в якій видобувний уступ розробляється земснарядами, а рудний пісок транспортується на збагачувальну фабрику на борту кар'єра. Однак ефективність другої технологічної схеми за критерієм періоду окупності підтверджується лише при залученні частки супутньої си-

ровини до 12,5%. При збільшенні цього показника найкращою технологічною схемою стає четверта, як за критерієм чистого приведеного прибутку, так і періоду окупності інвестицій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пивняк Г. Г., Собко Б. Е., Дребенштедт К., Ложников А. В. Тенденции развития природоохранных технологий открытой разработки полезных ископаемых: моногр.; НТУ «Днепро́вская политехника». Дніпро: НТУ «ДП», 2019. 387 с.
2. Bebbington A., Hinojosa L., Bebbington D. H., Burneo M. L., Warnaars, X. Contention and ambiguity: Mining and the possibilities of development. *Development and change*, 2008, no. 39(6), pp. 887–914.
3. Bozorgebrahimi E., Hall R. A., Blackwell G. H. Sizing equipment for open pit mining—a review of critical parameters. *Mining Technology*, 2003, no. 112(3), pp. 171–179.
4. Yamatomi J., Okubo S. Surface mining methods and equipment. *Civ. Eng. Vol. II*, 2009, 154 p.
5. Kortenski J., Sotirov A. Trace and major element content and distribution in Neogene lignite from the Sofia Basin, Bulgaria. *International Journal of Coal Geology*, 2002, no. 52(1-4), pp. 63–82.
6. Собко Б. Ю., Ложников О. В. Встановлення параметрів розробки обводненого кар'єру при застосуванні плавучої збагачувальної фабрики. *Збірник наукових праць НГУ*. 2019. Вип. № 57-5. С. 55–63.
7. Evans R., Moran C. J., Brereton D. Beyond NPV—A review of valuation methodologies and their applicability to water in mining. *Proc. Water in Mining*. 2006, pp. 97–103.
8. Галецкий Л. С., Грищенко С. Г., Ремезова Е. А. Комплексное использование титанорудного потенциала Украины. *Титан*. 2009. №. 1. С. 4–7.
9. Пивняк Г. Г., Гуменник И. Л., Дребенштедт К., Панасенко А. И. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений. Д.: НГУ, 2011. 568 с.
10. Rahman M. A., Zaman M. N., Biswas P. K., Sultana M. S. Economic Viability of the Tista River Sand Deposits in Bangladesh An Overview. *Journal of Scientific Research*, 2017, no. 9(2), pp. 219–233.

ASSESSMENT OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF WATERED TITAN-ZIRCONIUM DEPOSITS COMPLEX DEVELOPMENT

B. Sobko, O. Lozhnikov

Dnipro University of Technology

prosp. D. Yavornitskogo, 19, Dnipro, 49005, Ukraine. E-mail: oleksii.lozhnikov@gmail.com

Purpose. The article aims to substantiate the effectiveness of involving the main types of accompany minerals in use at the mining placer watered titanium-zirconium deposits. **Methodology.** Analytical research method is used to establish the main types of accompany raw materials to assess the market value of the final product and determine the feasibility of its further implementation. To establish the influence of the technological scheme of field development using a hydro-mechanized mining complex on the complex development of associated mineral raw materials to implement the net present value method is used. **Results.** The influence of the complex development of the titanium-zirconium deposit on the income of an enterprise with the involvement of associated raw materials from the use of 0 to 15% has been established. It is determined that increasing the share of accompany raw materials mining from 0 to 15%, the net present value of the project increases from 37 to 50 million USD per year, which amounts to 32 – 45% of the total revenue of a mining company, depending on the mining technological scheme. **Originality.** A comparative characteristic of the normal and the net present value of the project (NPV) for the existing technological schemes, depending

on the proportion of involvement in use of accompany materials is given. The established dependence of the net present value of the project on the proportion of associated raw materials mining has confirmed that with different proportions of involvement, the choice of the most effective technological scheme will change. **Practical value.** It was determined that technological scheme 2 has the best indicator of the payback period of investments when involving of associated raw materials are raised to 12.5%. With an increase in this indicator, the most effective becomes technological scheme 4, with a payback period of 4.9 years. The first scheme is the least attractive for investing, but with the involvement of 15% of the accompanying raw material, its indicators exceed the payback period of the third and fourth schemes, provided that they will not be extracted accompanying raw materials according to conditions of the Motronovsky MPP pit.

Key words: surface mining, pit, dredge, hydro-mechanized mining complex, host rocks, hydraulic haulage, investment attractiveness, payback period.

REFERENCES

1. Pivniak, G. G., Sobko, B. E., Drebenshtedt, K., Lozhnikov, A. V. (2019), Trends in the development of environmental technologies in surface mining : monohrafiya, Dnipro University of Technology, Dnipro: NTU "DP". 387 p.
2. Bebbington, A., Hinojosa, L., Bebbington, D. H., Burneo, M. L., Warnaars, X. (2008), "Contention and ambiguity: Mining and the possibilities of development" ["Raznoglasiya i neodnoznachnost': Dobycha i vozmozhnosti razvitiya"], *Development and change*, no. 39(6), pp. 887-914.
3. Bozorgebrahimi, E., Hall, R. A., Blackwell, G. H. (2003), "Sizing equipment for open pit mining—a review of critical parameters. ["Kalibrovochnoye oborudovaniye dlya otkrytykh gornykh rabot - obzor kriticheskikh parametrov"], *Mining Technology*, no. 112(3), pp. 171-179.
4. Yamatomi, J., Okubo, S. (2009), Surface mining methods and equipment. *Civ. Eng. II*, 2, 154 p.
5. Kortenski, J., Sotirov, A. (2002), "Trace and major element content and distribution in Neogene lignite from the Sofia Basin Bulgaria", ["Soderzhaniye i raspredeleniye sledov i osnovnykh elementov v neogennom burom ugle Sofiyskogo basseyna Bolgariya"], *International Journal of Coal Geology*, no. 52(1-4), pp. 63-82.
6. Sobko, B. Yu., Lozhnikov, O. V. (2019), Setting parameters for the development of a watered deposits during the application of a floating concentrating plant, *Collection of scientific works of NMU*, No. 57, pp. 55-63.
7. Evans, R., Moran, C. J., Brereton, D. (2006), Beyond NPV-A review of valuation methodologies and their applicability to water in mining. *Proc, Water in Mining*. pp. 97-103.
8. Galetsky, L. S., Gryshchenko, S. G., Remezo-va, Ye. A. (2009), "Complex Use of the Titanium Ore Potential of Ukraine" ["Kompleksnoye ispol'zovaniye titanovogo rudnogo potentsiala Ukrainy"], *Titan*, no. 1, pp. 4-7.
9. Pivniak, G. G., Gumenik, I. L., Drebenshtedt, K., Panasenko, A. I. (2011), Scientific basis for environmental management in surface mining, D.: NMU. 568 p.
10. Rahman, M. A., Zaman, M. N., Biswas, P. K., Sultana, M. S. (2017), "Economic Viability of the Tista River Sand Deposits in Bangladesh An Overview". ["Ekonomicheskaya zhiznesposobnost' peschanykh mestorozhdeniy reki Tista v Bangladesh Obzor"], *Journal of Scientific Research*, no. 9(2), pp. 219-233.

Стаття надійшла 16.05.2019.