

**АПРОБАЦІЯ КОМПЛЕКСНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОЗРОБКИ ОБВОДНЕНИХ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ****О. В. Ложніков**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

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

Виконано аналіз сучасних підходів до апробації методик оцінки ефективності технологічних схем розробки родовищ обводнених титан-цирконієвих родовищ корисних копалин. Встановлено показники основних економічних критеріїв, які впливають на прийняття рішень при виборі оптимальної технологічної схеми розробки обводнених титано-цирконієвих родовищ з урахуванням витрат на: видобуток руди; осушення та водовідведення з кар'єру; видобуток руди з урахуванням землекористування; розробку кар'єру з урахуванням видобутку супутніх корисних копалин. Обґрунтовано вибір п'яти основних технологічних схем розробки обводнених родовищ, які відрізняються між собою застосуванням: водопонижуючих свердловин, водотривких стін, наявністю гідромеханізованого видобувного комплексу з поділом рудного пласта на вмшуючі гірські породи і важкі руди. Аналіз результатів оцінки технологічних схем за чотирма економічними критеріями показав, що схема з оптимальними параметрами відсутня, оскільки в жодній з них, економічні показники усіх критеріїв не мають найкращих параметрів відносно інших схем. При виборі оптимальної технологічної схеми, з урахуванням 16 запропонованих критеріїв, встановлено, що найбільш ефективною є схема з використанням гідромеханізованого видобувного комплексу і поділом вмшуючих порід на піщані та глинисті складові в межах кар'єру.

**Ключові слова:** відкрита розробка, комплексна методика, кар'єр, критерій оцінки, гідромеханізований видобувний комплекс, вмшуючі породи, гідротранспорт.

**АПРОБАЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ РАЗРАБОТКИ ОБВОДНЕННЫХ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ****А. В. Ложников**

Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

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

Выполнен анализ современных подходов к апробации методик оценки эффективности технологических схем разработки обводненных титано-циркониевых месторождений полезных ископаемых. Установлены показатели основных экономических критериев, которые влияют на принятие решений при выборе оптимальной технологической схемы разработки обводненных титано-циркониевых месторождений с учетом затрат на: добычу руды; осушение и водоотведение из карьера; добычу руды с учетом землепользования; разработку карьера с учетом добычи попутных полезных ископаемых. Обоснован выбор пяти основных технологических схем разработки обводненных месторождений, которые отличаются между собой применением: водопонижающих скважин, водоупорных стен, наличием гидромеханизированного добычного комплекса с разделением рудного пласта на вмещающие горные породы и тяжелые руды. Анализ результатов оценки технологических схем по четырем экономическим критериям показал, что схема с оптимальными параметрами отсутствует, поскольку ни в одной из них экономические показатели всех критериев не обладают наилучшими параметрами относительно других схем. При выборе оптимальной технологической схемы с учетом 16 предложенных критериев, установлено, что наиболее эффективной является схема с использованием гидромеханизированного добычного комплекса и разделением вмещающих пород на песчаные и глинистые составляющие внутри карьера.

**Ключевые слова:** открытая разработка, комплексная методика, карьер, критерий оценки, гидромеханизированный добычный комплекс, вмещающие породы, гидротранспорт.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Вибір ефективної технологічної схеми розробки титан-цирконієвих родовищ, з урахуванням ресурсозберігаючих критеріїв, є актуальним завданням оскільки крім порушення значних територій земель від розробки кар'єру виникає необхідність у щорічному складуванні мільйонів тон порід, представлених розкритими породами і відходами збагачувальної фабрики.

Раніше виконані дослідження дозволили встановити, що вибір оптимальної технологічної схеми розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ, є багатокритеріальним завданням, яке включає економічні, технологічні, законодавчі та природоохоронні критерії. З урахуванням важливості цих критеріїв, у роботі [1] автором розроблена комплексна

методика оцінки ресурсозберігаючих технологічних схем відпрацювання обводнених титан-цирконієвих родовищ, яка потребує апробації на прикладі розробки існуючого титан-цирконієвого родовища.

У зв'язку із цим сформульована мета роботи, яка полягає у апробації комплексної методики оцінки ресурсозберігаючих технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ на прикладі кар'єру Мотронівського ГЗК.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Розробка комплексної методики оцінки ресурсозберігаючих технологічних схем передбачала залучення експертів в області відкритої розробки родовищ корисних копалин для ранжирування 16 критеріїв і встановлення їх важливості. При цьому, чотири з 16

критеріїв є економічними. Оскільки оцінка економічних критеріїв є найбільш складним завданням при визначенні вихідних даних для оцінювання, у попередніх роботах були виконані дослідження зі встановлення показників інвестиційної привабливості технологічних схем розробки титан-цирконієвих родовищ на прикладі кар'єру Мотронівського ГЗК [2–4].

Розрахунок інвестиційної привабливості здійснювався для п'яти технологічних схем зі встановленням чистої наведеної вартості проекту. Під час розрахунків була визначена чиста наведена вартість (NPV) проектів (технологічних схем) за 10 річний період. Оцінка здійснювалася для наступних критеріїв: 1) NPV при видобутку основної корисної копалини; 2) NPV при видобутку корисної копалини із включенням у товарну групу підприємства 5% супутніх корисних копалин; 3) NPV при веденні додаткової господарської діяльності на порушених землях гірничого й земельного відводу; 4) витрати на осушення кар'єру.

Виконані розрахунки економічних показників п'яти технологічних схем дозволили перейти до наступного кроку досліджень з апробації розробленої комплексної методики оцінки.

Питанням апробації методик вибору ефективних технологічних схем присвячена значна кількість науково-дослідних робіт в області розробки корисних копалин, однак більшість із них пов'язано з вирішенням обмежених індивідуальних завдань.

Автори роботи [5] приводять результати апробації методики для вибору параметрів роботи видобувного устаткування при підводному видобутку корисних копалин з морського дна. Результати апробації можуть бути використані для вибору параметрів роботи окремих виймально-навантажувальних машин, однак вони не можуть бути застосовні для вибору гірничотранспортного комплексу кар'єру.

Дослідження, виконані в роботі [6], присвячені експертній оцінці доцільності впровадження інноваційних проектів у роботу гірничопромислових підприємств. Однак, виконані дослідження мають узагальнений характер і не враховують специфіки розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ.

Виконаний аналіз науково-дослідних робіт дозволяє встановити, що існуючі методики вибору оптимальних технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ не враховують багатьох факторів, у тому числі ресурсозберігаючих і природоохоронних. У той же час розроблена комплексна методика оцінки відпрацювання таких родовищ [1] у цей час вимагає апробації з урахуванням встановлених техніко-економічних показників.

Апробація розробленої методики на прикладі відпрацювання кар'єру Мотронівського ГЗК дозволить встановити коректність її застосування, а у випадку позитивного результату визначити оптимальну технологічну схему, що забезпечить оптимальні економічні, технологічні та природоохоронні параметри.

Для апробації комплексної методики необхідно вирішити наступні завдання: виконати розрахунок відсоткової різниці економічних показників за чотирима критеріями; оцінити п'ять технологічних схем за 12 технологічними і природоохоронними критеріями з урахуванням їх важливості; виконати аналіз результатів досліджень з вибору оптимальної технологічної схеми відпрацювання обводненого титан-цирконієвого родовища і рекомендувати оптимальну схему.

Виконані раніше дослідження дозволили встановити, що розробка обводнених титан-цирконієвих родовищ відрізняється від розробки малообводнених родовищ даного типу наявністю водоносного горизонту в надрудному шарі, що істотно ускладнює процес проведення видобувних робіт. При проведенні досліджень обґрунтована можливість застосування п'яти технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ, для яких визначені техніко-економічні показники. Основні особливості кожної з позначених схем розробки родовища полягають у застосуванні:

- водопонижуючих свердловин, розташованих за периметром видобувного уступу, що дозволяє використовувати крокуючі екскаватори при розробці видобувного уступу (Схема 1);

- земснарядів з гідротранспортуванням корисної копалини на збагачувальну фабрику на борту кар'єру (Схема 2);

- гідромеханізованого видобувного комплексу, який включає земснаряди й плаваючу збагачувальну фабрику, на якій виконується відділення важких мінералів від вмішуючих порід, після чого різними трубами гідротранспорту, мінерали переміщуються на збагачувальну фабрику на борту кар'єру, а вмішуючі породи – на хвостосховище на поверхні внутрішнього відвалу (Схема 3);

- схожого обладнання з третьою схемою, основною відмінністю якого є функція додаткового поділу вмішуючих порід у гідромеханізованому видобувному комплексі на піщані й глинисті складові, після чого піски переміщують у внутрішній відвал, а глини після згущення – у техногенне родовище (Схема 4);

- водотривких стін за периметром кар'єра, які дозволяють значно знизити потрапляння ґрунтових вод у нього, що дає можливість використовувати крокуючі екскаватори при розробці видобувного уступу (Схема 5).

При вирішенні першого завдання виконується розрахунок відсоткової різниці економічних показників для чотирьох з 16 критеріїв, які мають наступні ранги (r):

- витрати на видобуток руди або чиста наведена вартість проекту (NPV), т/грн. ( $r_2$ );

- витрати на водовідведення (осушення) кар'єру й створення резервуару з технічною водою, грн./рік ( $r_7$ );

- витрати на видобуток руди з урахуванням землекористування або чиста наведена вартість проекту (NPV), т/грн. ( $r_8$ );

- витрати на видобуток руди з урахуванням розробки супутніх корисних копалин або чиста наведена вартість проекту (NPV), т/грн. ( $r_{12}$ );

Як запропоновано у роботі [1], порівняння однакових економічних показників різних технологічних схем рекомендується робити шляхом співставлення показників найкращої технологічної схеми з іншими схемами шляхом визначення відсоткової різниці. Оскільки в роботах [2–4] при розрахунку економічних показників технологічних схем, визначення витрат було складовою розрахунку чистої наведеної вартості проекту (NPV), у подальших дослідженнях прийнято рішення використовувати економічний

критерій NPV, який було встановлено при розрахунку інвестиційної привабливості проекту. Встановлення відсоткової різниці для NPV пропонується виконувати з використанням наступного виразу:

$$\Delta C = 10 \cdot \left( 1 + \frac{C_n - C_1}{C_1} \right), \quad (1)$$

де  $C_1$  – економічний показник (чиста наведена вартість NPV) найкращої схеми, грн.;  $C_n$  – економічний показник  $n$ -ої схеми розробки, грн.; 10 – максимальний бал оцінки критерію.

Вихідні дані, встановлені раніше в роботах [1–4], для визначення економічної оцінки п'яти технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ, наведені в (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники економічних критеріїв п'яти можливих технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ

Ранг	Критерій	Важливість, %	Номер технологічної схеми				
			Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5
2	Чиста наведена вартість проекту (NPV) при видобутку руди, млн. у.о.	10	82,6	114,6	107,5	111,3	55,8
7	Витрати на водовідведення (осушення) кар'єру й створення резервуара з технічною водою, тис. євро.	6	496,0	1	1	1	50,0
8	Чиста наведена вартість проекту (NPV) при розробці кар'єру з урахуванням землекористування, млн. у.о.	6	82,6	114,6	107,5	111,9	55,8
12	Чиста наведена вартість проекту (NPV) при видобутку руди з урахуванням використання 5% СКК, млн. у.о.	4	95,1	127,1	120	128,1	67,6

Як видно зі встановлених раніше вихідних даних (табл. 1), доволі складно визначити технологічну схему, що має однозначну перевагу в порівнянні з іншими. Це ще раз підтверджує актуальність запропонованої відсоткової різниці у розробленій комплексній методиці для вибору технологічної схеми розробки обводнених родовищ.

Економічні показники NPV і витрати на осушення при розробці родовища, встановлені раніше (табл. 1), дозволяють визначити найбільш ефективну схему за кожним критерієм. Так, за критерієм з другим рангом найбільш ефективною є друга схема, за критерієм із сьомим рангом – друга, третя й четверта схеми, за критерієм з 8 рангом – друга схема, за критерієм з 12 рангом – четверта схема.

Після визначення відсоткової різниці для вихідних даних (табл. 1), із застосуванням виразу (1) для

чистої наведеної вартості проекту (NPV), а для витрат на водовідведення (осушення кар'єру) – розрахунків наведених у роботі [7], встановлюються бали по чотирьох економічних критеріях для п'яти технологічних схем з використанням запропонованого виразу:

$$m = 10 \cdot v_E \cdot (1 - \Delta C), \quad (2)$$

де  $v$  – важливість критерію, встановлена експертною групою у роботі [1].

Під час виконання розрахунків було встановлено, що при оцінці витрат на водовідведення для схем 1 й 5, бал  $m < 0$ , тому приймаємо його рівним 0. Результати оцінювання ефективності п'яти технологічних схем за чотирма економічними критеріями наведені в (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка технологічних схем за економічними критеріями

Ранг	Критерій	Номер технологічної схеми				
		Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5
2	NPV проекту при видобутку руди	7,2	10,0	9,4	9,7	4,9
7	Витрати на водовідведення (осушення) кар'єру й створення резервуара з технічною водою	0	10	10	10	0
8	NPV проекту при розробці кар'єру з урахуванням землекористування	7,2	10,0	9,4	9,8	4,9
12	NPV проекту при видобутку руди з урахуванням використання 5% СКК	7,4	9,9	9,4	10,0	5,3

Як видно з результатів оцінки економічних критеріїв (табл. 2) найбільшу кількість балів по трьом критеріям набрала друга технологічна схема, а на другому місці розташувалася четверта схема. Найменшу кількість балів набрали п'ята і перша технологічні схеми.

Однак отримані результати не дозволяють зробити висновок, що друга схема однозначно рекомендується до застосування, оскільки не врахована

решта 8 критеріїв відповідно до розробленої комплексної методики.

Для вирішення другого завдання використовувалася техніко-аналітичний метод досліджень на основі аналізу результатів розрахунків, отриманих у попередньо виконаних дослідженнях. Оцінювання п'яти технологічних схем за 12 технологічними і природоохоронними критеріями здійснювалося за шкалою від 0 до 10 балів (табл. 3).

Таблиця 3 – Оцінка технологічних схем розробки обводнених родовищ

Ранг	Критерій	Важливість	Номер технологічної схеми				
			Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5
1	Безпека технології (рівень безпеки)	11	9	9	8	8	9
2	NPV проекту при видобутку руди	10	7,2	10,0	9,4	9,7	4,9
3	Можливість застосування при обмежених земельних умовах	8	4	6	7	9	4
4	Надійність (довговічність) технології	8	9	8	7	7	8
5	Втрати основної сировини при добуванні	8	9,0	8,0	8,0	8,0	9,0
6	Негативний вплив на ОПС	8	4,0	7,0	8,0	9,0	8,0
7	Витрати на водовідведення (осушення) кар'єру	6	0	10	10	10	0
8	NPV проекту при розробці кар'єру з урахуванням землекористування	6	7,2	10,0	9,4	9,8	4,9
9	Рівень утворення відходів	6	6	6	7	9	6
10	Можливість господарської діяльності на порушених землях	6	6	6	6	10	7
11	Формування техногенного родовища	5	8	8	9	10	8
12	NPV проекту при видобутку руди з урахуванням використання 5% СКК	4	7,4	9,9	9,4	10,0	5,3
13	Проектна площа хвостосховища	4	7	7	7	9	7
14	Селективне видобування СКК	4	7	7	8	9	7
15	Зменшення площі порушення кар'єрами будівельних матеріалів	3	8	8	9	10	8
16	Забезпечення ринку супутньою сировиною для будівельної промисловості	3	8	8	9	10	8

Результати виконаної оцінка критеріїв ефективності розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ, наведені у табл. 3, дозволяють зробити висновки, відповідно до того, яка з технологічних схем є найбільш ефективною до застосування на практиці. При цьому результати оцінки дозволяють стверджувати, що в кожній схемі є переваги й недоліки, які в підсумку впливають на визначення загальної оцінки.

Під час аналізу оцінок технологічних схем за 12 критеріями, встановлено найбільш ефективні області застосування кожної з них. Оцінювання найбільш важливого критерію «безпека технології» (Ранг 1) дозволяє стверджувати, що найбільш безпечними є технологічні схеми 1, 2, 3, які оцінюються 9 балами. Це пояснюється наявністю мінімальної кількості устаткування в складі гірничотранспортного комплексу, що теоретично зменшує ризики безпеки у порівнянні зі схемами три і чотири (8 балів).

У випадку обмежених земельних ресурсів (критерій Ранг 3) найбільш ефективною є четверта технологічна схема, оскільки потребує меншу за інші площу територій для розташування хвостосховища

за межами кар'єру і на поверхні внутрішнього відвалу, а також водойми для відстійника з технічною водою. Схеми 1 і 5 найменш ефективні при розробці обводнених титан-цирконієвих родовищ, оскільки окрім формування хвостосховища, необхідно передбачити місце розташування резервуару для технічної води від осушення кар'єру (табл. 3).

При оцінюванні критерію надійності технології (Ранг 4), найбільший бал отримала класична технологія (схема 1) з використанням водопонижувачих свердловин і крокуючих екскаваторів для розробки видобувних уступів, оскільки вона використовується на родовищах у подібних гірничо-геологічних умовах протягом багатьох десятиліть і зарекомендувала себе як найбільш надійна. Найменш надійними оцінені технологічні схеми з використанням ГДК, оскільки вони передбачають застосування найбільшої кількості одиниць обладнання.

При оцінюванні технологічних схем за критерієм, що характеризує втрату корисної копалини (Ранг 5), найвищий бал одержали схеми 1 й 5, у яких на видобувному уступі використовуються крокуючі

екскаватори. Це пов'язано з тим, що робота земснарядя у обводненому вибої з поганою видимістю, у деяких випадках, може призводити до втрати у вибої корисної копалини.

Найбільший бал при оцінюванні впливу схем на навколишнє середовище (критерій з 6 рангом) одержала схема, у якій застосовуються ГДК з розділенням вміщуючих порід, за рахунок відсутності хвостосховищ і формування техногенного родовища. Друге місце займає схема 5 з використанням водотривких стін за рахунок мінімального впливу на режим ґрунтових вод у районі ведення відкритих гірничих робіт.

При оцінці технологічних схем за критерієм (Ранг 9), який враховує утворення відходів, найбільш ефективною також є четверта схема. Це пояснюється тим, що в ній максимально залучаються вміщуючі породи, як супутня сировина. За рахунок цього в даній схемі виключається формування хвостосховищ. Також глинисті вміщуючі породи розміщаються в техногенному родовищі або у випадку наявності постачаються замовнику.

Критерій (Ранг 10), який оцінює можливість господарської діяльності на порушених землях, оцінений найбільшим балом при використанні четвертої технологічної схеми. Дослідження виконані в попередніх розділах дозволили встановити, що поділ вміщуючих порід на піщану й глинисту масу приводить до істотного скорочення площі хвостосховища. У той же час при інших схемах хвостосховище розташовується у межах кар'єру на поверхні внутрішнього відвала. Отже, вільні від хвостосховища землі можуть бути використані для додаткової господарської діяльності, наприклад – розміщення панелей сонячних електростанцій.

Критерій (Ранг 11), за допомогою якого оцінюється можливість формування техногенного родовища, одержав найвищу оцінку 10 балів у четвертій технологічній схемі. Це пояснюється розміщенням очищених глин з вміщуючих порід рудного шару у техногенне родовище, у той час як в інших схемах ці породи передбачено розмішувати валово у хвостосховище разом з піщаними.

Критерій (Ранг 13), який оцінює ефективність технології з позиції площі землі, яка відведена під розміщення хвостосховища, має найбільш високі показники в схемі 4. Це пов'язано з можливістю поділу в кар'єрі вміщуючих порід, на піщані й глинисті. Завдяки цьому піщані вміщуючі породи можуть бути розміщені в ярусах внутрішнього відвалу, у той час як в інших схемах через низьку несучу здатність піщано-глиниста суміш не може розмішуватись у ярусах внутрішнього відвалу, тому складається у хвостосховищі.

Найкращі показники селективної виймки супутніх корисних копалин (критерій 14 з рангом) також характеризують четверту технологічну схему за рахунок роздільного видобування кварцових пісків і глини з рудного шару основної корисної копалини в межах кар'єру, у той час, як в інших схемах це не передбачено.

Оцінка впливу видобутку супутніх корисних копалин на роботу кар'єрів будівельних матеріалів у районі розробки оцінюється критерієм (Ранг 14). Він

враховує зменшення площі порушених земель гірничими роботами в районі. Відповідно до оцінки технологічних схем за цим критерієм найбільш ефективною є 4 технологічна схема розробки, оскільки передбачає найбільший обсяг видобування супутніх корисних копалин.

Найкращі показники за останнім критерієм (Ранг 16), який оцінює можливість забезпечення ринку супутньою сировиною для будівельної промисловості, також спостерігаються в четвертій схемі. Цей критерій тісно пов'язаний із критерієм (Ранг 14) і характеризує технологічну схему з позиції розробки супутніх корисних копалин, які можуть бути використані у будівельній промисловості.

Після того, як встановлена важливість кожного критерію, визначено відсоткову різницю чотирьох економічних критеріїв і встановлені бали по 12 технологічним і природоохоронним критеріям, виконується загальна оцінка технологічних схем за запропонованим виразом:

$$v_n = \frac{\sum_{i=1}^n v_{in}}{N_{En}}, \quad \%, \quad (3)$$

де  $v$  – важливість критерію, %.

Результати виконаних досліджень зі встановлення оптимальної технологічної схеми розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ наведені в табл. 4.

Відповідно до результатів комплексної оцінки технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ, наведених у табл. 4, можна зробити висновок, що найбільш ефективною є четверта технологічна схема розробки із загальною оцінкою 9,04 балів, незважаючи на те, що вона не має найкращих економічних показників.

На другому місці за ефективністю знаходиться третя технологічна схема з оцінкою 8,13 бала, яка має більше низькі економічні показники, ніж друга і четверта схеми. Як показують результати досліджень, третя схема уступає четвертій також у показниках ресурсозбереження, оскільки в ній відсутній роздільний видобуток вміщуючих порід рудних пісків, а землі внутрішнього відвала використовуються для розміщення хвостосховища з відходами збагачення. Однак показники ресурсозбереження даної схеми перевершують показники другої схеми, за рахунок поділу вміщуючих порід і важких мінералів на гідромеханізованому видобувному комплексі усередині кар'єру. Після чого важкі мінерали переміщаються на збагачувальну фабрику на борту кар'єру, а вміщуючі породи у хвостосховище на внутрішньому відвалі кар'єру, за рахунок чого досягається зменшення обсягу транспортної роботи в кар'єрі.

Незважаючи на те, що друга технологічна схема, є найбільш ефективною за економічними показниками, вона уступає третій і четвертій схемам розробки за показниками ресурсозбереження. Тому ця технологічна схема перебуває на третьому місці з оцінкою 8,07 бала й може бути рекомендована до застосування тільки в тому випадку, якщо в ній будуть вдосконалені показники ресурсозбереження.

Таблиця 4 – Вибір оптимальної технологічної схеми при розробці обводнених титан-цирконієвих родовищ

Ранг	Критерій	Номер технологічної схеми				
		Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5
1	Безпека технології (рівень безпеки)	0,99	0,99	0,88	0,88	0,99
2	NPV проекту при видобутку руди	0,72	1,00	0,94	0,97	0,49
3	Можливість застосування при обмежених земельних умовах	0,32	0,48	0,56	0,72	0,32
4	Надійність (довговічність) технології	0,72	0,64	0,56	0,56	0,64
5	Втрати основної сировини при добуванні	0,72	0,64	0,64	0,64	0,72
6	Негативний вплив на НПС	0,32	0,56	0,64	0,72	0,64
7	Витрати на водовідведення (осушення) кар'єру	0,00	0,60	0,60	0,60	0,00
8	NPV проекту при розробці кар'єру з урахуванням землекористування	0,43	0,60	0,56	0,59	0,29
9	Рівень утворення відходів	0,36	0,36	0,42	0,54	0,36
10	Можливість господарської діяльності на порушених землях	0,36	0,36	0,36	0,60	0,42
11	Формування техногенного родовища	0,40	0,40	0,45	0,50	0,40
12	NPV проекту при видобутку руди з урахуванням використання 5% СКК	0,30	0,40	0,37	0,40	0,21
13	Площа для хвостосховища	0,28	0,28	0,28	0,36	0,28
14	Селективне видобування СКК	0,28	0,28	0,32	0,36	0,28
15	Зменшення площі порушення кар'єрами будівельних матеріалів	0,24	0,24	0,27	0,30	0,24
16	Забезпечення ринку попутною сировиною для будівельної промисловості	0,24	0,24	0,27	0,30	0,24
<b>Загальна оцінка технологічної схеми:</b>		<b>6,68</b>	<b>8,07</b>	<b>8,13</b>	<b>9,04</b>	<b>6,52</b>

На четвертому місці розташована класична схема розробки титан-цирконієвих родовищ (Схема 1) з використанням крокуючих екскаваторів для відпрацювання видобувного уступу з використанням водопонижуючих свердловин для осушення кар'єру з оцінкою 6,68 балів. Оскільки ця технологічна схема уступає попередній за економічними і ресурсозберігаючими параметрами, вона розташувалася на такому відносно низькому рівні.

Найгірші показники має п'ята технологічна схема, в якій для осушення родовища використовуються водотривкі стіни, а корисна копалина відпрацьовується крокуючими екскаваторами – 6,52 бала. У даній технологічній схемі найгірші економічні показники пов'язані зі значними капітальними витратами на спорудження водотривкої стіни. При цьому інші показники ресурсозбереження в цій схемі також досить низькі. Однак, ця схема одержала високу оцінку за критерієм впливу на навколишнє середовище, оскільки вона дозволяє максимально запобігти впливу на підземні водоносні горизонти.

**ВИСНОВКИ.** Проведені дослідження дозволили виконати апробацію розробленої методики комплексної оцінки ресурсозберігаючих технологічних схем відпрацювання обводнених титан-цирконієвих родовищ. При виконанні оцінки економічних критеріїв використовувався запропонований вираз для встановлення відсоткової різниці показників технологічних схем.

Використання цього показника дозволило встановити, що найбільш ефективною технологічною

схемою за економічною оцінкою є друга схема, однак подальші дослідження з використанням комплексної методики оцінки показали, що найбільш ефективною є четверта схема розробки з оцінкою 9,04 балів. Слідом за нею йдуть третя, друга, перша і п'ята технологічні схеми з оцінкою 8,13, 8,07, 6,68 й 6,52, відповідно.

Отже, при існуючих параметрах, до застосування рекомендовано четверту схему, як найбільш оптимальну з позиції економічних, технологічних і природоохоронних чинників. Інші схеми можуть розглядатися надалі, як альтернативні. Основною умовою для цього є вдосконалення їх показників з метою підвищення ефективності показників економічних і ресурсозберігаючих критеріїв.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ложніков О. В. Методологічні основи оцінки ресурсозберігаючих технологічних схем відпрацювання обводнених титан-цирконієвих родовищ. *Збірник наукових праць НГУ*. 2020. № 60. С. 69–81.
2. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Вплив фактора використання порушених земель на інвестиційну оцінку технологічних схем розробки титан-цирконієвих родовищ. *Збірник наукових праць НГУ*. 2019. № 58. С. 8–21.
3. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Оцінка інвестиційної привабливості технологічних схем розробки обводнених титан-цирконієвих родовищ. *Технічна інженерія: Державний університет Житомирська Політехніка*. 2019. № 2(84). С. 156–165.

4. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Оцінка інвестиційної привабливості комплексного освоєння обводнених титан-цирконієвих родовищ. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. Вип. 4(117). С. 106–114.

5. Yungmeister D. A., Ivanov S. E., Isaev A. I. (2018, March). Calculation of parameters of technological equipment for deep-sea mining. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 327, No. 2, p. 022050). IOP Publishing.

6. Pimonov A., Raevskaya E., Sarapulova T. (2017). Expert evaluation of innovation projects of mining enterprises on the basis of methods of system analysis and fuzzy logics. In E3S Web of Conferences (Vol. 15, p. 01021). EDP Sciences.

7. Sobko B., Lozhnikov O. "Determination of cut-off wall cost efficiency at Motronivskyi pit mining." *Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk*, № 3 (2018), pp. 44–49.

## APPLYING OF COMPLEX METHOD FOR RECOURSE-SAVING TECHNOLOGICAL CHARTS EVALUATION AT THE SURFACE MINING OF FLOODED TITANIUM ZIRCONIUM DEPOSITS

O. Lozhnikov

Dnipro University of Technology

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

**Purpose.** The study of the complex estimation method effectiveness at the choosing of resource-saving mining technological schemes for flooded titanium-zirconium deposits in condition of Motronovsky MPP pit. **Methodology.** To assess the indicators of economic criteria in the analysis of technological development schemes, the method of technical and economic analysis is used. When processing the research results and the overall assessment of technological schemes, taking into account 16 criteria, the method of mathematical-statistical analysis was used. **Results.** Testing the integrated methodology for the selection of technological development schemes allowed choosing the optimal technological scheme for the development of flooded titanium-zirconium deposits. Moreover, the research results suggest that the proposed resource-saving technological scheme using a hydro-mechanized mining complex, which does not have the best economic indicators, is optimal. **Originality.** For the first time, a complex method was tested to select the optimal technological scheme at the developing flooded titanium-zirconium deposits in the Motronovsky MPP pit. The influence of resource-saving criteria on the adoption of an informed decision was established when choosing the optimal technological scheme for mining of flooded titanium-zirconium deposit. The results of testing the complex method when choosing a resource-saving scheme for the development of flooded deposits allow developing recommendations for the application of the optimal mining scheme in condition of Motronovsky MPP pit. **Practical value.** The use of percentage difference indicator allowed establishing that the most effective technological scheme for economic evaluation is the second scheme, but further studies using a comprehensive assessment methodology showed that the most effective is the fourth technological mining scheme with a score of 9.04 points. It is followed by the third, second, first and fifth technological schemes with a score of 8.13, 8.07, 6.68 and 6.52, respectively. Therefore, existing parameters shows that the fourth scheme is recommended for use, as the most optimal according to the indexes of economic, technological and environmental factors.

**Key words:** surface mining, pit, dredge, hydro-mechanized mining complex, host rocks, hydraulic haulage, complex method, titanium-zirconium deposit.

### REFERENCES

1. Lozhnikov, O. V. (2020), "Methodological bases of resource-saving technological schemes estimation of flooded titanium-zirconium deposits mining", *Collection of scientific works of NMU*, № 60, pp. 69-81.

2. Sobko, B. Y., Lozhnikov, O. V. (2019), "Influence of the disturbed lands using factor on investment estimation of technological schemes mining of titanium-zirconium deposits", *Collection of scientific works of NMU*, № 58, pp. 8-21.

3. Sobko, B. Y., Lozhnikov, O. V. (2019), Estimation of technological schemes investment attractiveness at the mining of flooded titanium-zirconium deposits, *Technical engineering: Zhytomyr Polytechnic State University*, № 2 (84). pp. 156-165.

4. Sobko, B. Y., Lozhnikov, O. V. (2019), "Investment estimation of complex mining attractiveness in condition of flooded titanium-

zirconium deposits", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. № 4(117). pp. 106-114.

5. Yungmeister, D. A., Ivanov, S. E., Isaev, A. I. (2018, March). Calculation of parameters of technological equipment for deep-sea mining. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 327, No. 2, p. 022050). IOP Publishing.

6. Pimonov, A., Raevskaya, E., Sarapulova, T. (2017). Expert evaluation of innovation projects of mining enterprises on the basis of methods of system analysis and fuzzy logics. In E3S Web of Conferences (Vol. 15, p. 01021). EDP Sciences.

7. Sobko, B., Lozhnikov, O. (2018), "Determination of cut-off wall cost efficiency at Motronivskyi pit mining." *Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk*, № 3, pp. 44-49.

Стаття надійшла 15.04.2020.