

#### Розділ 4. Техніко-економічні проблеми гірничого виробництва

УДК 622.22.553.4:519.85

<https://doi.org/10.37101/ftpgp24.01.008>

### ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

В.Г. Гріньов<sup>1</sup> А.О Хорольський<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: khorolskiyaa@ukr.net

### POTENTIAL OF DEVELOPMENT OF RESEARCHES IS IN RELATION TO CREATION OF TECHNOLOGY OF OPTIMAL PLANNING OF USE BY NATURE

V. Hrinov<sup>1</sup>, A. Khorolskyi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>1\*</sup>Corresponding author: e-mail: khorolskiyaa@ukr.net

#### ABSTRACT

**Purpose.** Analysis of existent resources of researches on creation of technology of the optimal planning of the use by nature by the estimation of possibility of calculations of comparison economic and ecological variants of scenarios of mastering of deposit.

**Methods.** The European variant of model of demonstration of variety of possible scenarios of mastering of deposits can be realized as a reflection of stage-by-stage change of the state of supplies of deposits in the period of their exploitation as the acyclic graph and after his converting into a network can be optimized by means of corresponding software.

**Findings.** Demonstration of potential of development of researches in direction of optimization of network models by the method of the dynamic programming, what sufficient for realization of economic evaluation of ecological aspect of mastering useful of deposits, brought around to the example of calculations in the conditions of the real deposits.

**Originality.** First it offers for the rational use nature as a method of active the state mountain range at working off the deposits of minerals to carry out a design on the ecological and economic criteria of network of mountain processes as a stage-by-stage change of the state of their supplies from balance to the eventual products

(including wastes of production) of the dynamic programming in accordance with that made decision on every stage must be the best in relation to a process on the whole a method.

**Practical implications.** On the basis of reliable geological and mine terms state information deposit and modern mine and concentrating technologies, and also at presence of classic calculable methods it is possible to realize potential of development of fundamental researches in relation to creation of technology of optimal planning of the effective mastering of deposits.

**Keywords:** rational use by nature, working off deposits, ecology, technology of planning, computer program, design of scenarios, dynamic programming, innovation

## 1. ВСТУП

Попри те, що надра нашої країни відрізняються від багатьох сучасних розвинених країн наявністю великої різноманітності геологічно розвіданих родовищ корисних копалини, зараз дати загальну оцінку фактичній ролі природних ресурсів в економічному розвитку України досить важко. Але на тлі історії розвинених і відсталих країн, які мають власні природні багатства, ми виглядаємо як велика провінція [1]. Рівень природокористування у нас не відповідає світовому, тому за наявності такої різноманітної і перспективної мінеральної бази, як, наприклад, родовища рідкісних і благородних металів, енергетичні корисні копалини або залізородні родовища, держава не отримує відповідних доходів.

Відомчі норми, які регламентують технологічне проектування є по багатьох видах галузевої діяльності, але, на жаль, у нас в країні досі відсутні нормативи по розробці кольорових металів. Також в нашій державі не має власної бази по збагаченню руд по рідким і благородним металам. В якості прикладу, факт не ефективної розробки Клінцовського і Мужієвського родовищ з елементами декларативності і, як наслідок, в даний час там здійснюється розробка та утилізація відвалів.

В нашій державі на інвестування геологорозвідувальних робіт і експлуатацію родовищ окрім суспільно-політичних чинників значною мірою впливає недостатня увага з боку держави на фінансування геологічної галузі, а також слабкий зв'язок між геологами і гірниками як на рівні галузей так і підприємств.

Наявність негативної реальності в раціональному природокористуванні надрами також пояснюється тим, що сучасний рівень експлуатації родовищ з цінними корисними копалинами відрізняється високими вимогами до інженерного забезпечення гірничих робіт і обґрунтування ухвалення рішень [2]. А це, у свою чергу, вимагає достатнього високого рівня уваги і ресурсів з боку держави, а також професійним відношенням до складних науково-технічних проблем ефективного витягання цінних корисних копалин з екологічно шкідливим виробництвом, які розташовані в центрі Європейського континенту. Такий науковий напрям можна реалізувати тільки в незалежній установі, що стоїть на державних позиціях, а такою в нашій країні продовжує залишатися національна академія наук України.

Зараз в цивілізованих країнах, все частіше, в якості головного критерію для ухвалення рішень при освоєнні ресурсів надр, на перше місце виходить екологічний аспект [3]. Більше того, проблема раціонального освоєння надр ускладнюється тим, що сучасні умови припускають орієнтування на формування нової моделі економіки, яка має бути пов'язана з цілеспрямованим переходом до «зеленої» низьковуглецевої або вуглецевонейтральної моделі, яка адаптована до змін клімату.

При цьому вагому роль тут відіграє здатність виконавців застосовувати нові практики управління за обмежених державних ресурсів. Таке управління на усіх рівнях не має передбачати «ручного управління», повинно бути достатньо мотивованим, зберігати інституційну пам'ять та вміти протистояти лобістам з різних сфер економіки і енергетики зокрема [4].

Сучасна технологія оптимального проєктування природокористування повинна поєднувати в собі аналіз економічних та екологічних стратегій відпрацювання родовищ корисних копалин на основі оптимізації мережевих моделей, які є відображенням процесу зміни стану запасів родовища від балансових запасів до кінцевої продукції, включаючи відходи виробництва. Нові підходи щодо раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин базуються на проведенні фундаментальних досліджень наукового напрямку щодо створення способів активного керування станом гірничого масиву, який належить до головних напрямів діяльності Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України [5]. Таким чином, потенціал розвитку досліджень у вигляді наявного досвіду, ресурсної бази та можливості моделювання багатопараметричних завдань дозволяє створювати варіанти сучасних вітчизняних технологій інтенсифікації видобутку корисних копалин в межах раціонального, комплексного і екологічно безпечного освоєння визначених видів родовищ.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Реалізацію інтенсифікації видобутку корисних копалин із забезпеченням екологічності, раціонального використання надр, безпеки ведення гірничих робіт та підвищення якості видобутої сировини найбільш ефективно можна здійснити за рахунок вилучення і переробки корисних копалин за проєктами, які будуть виконані за технологією оптимального проєктування природокористування із залученням сучасних інформаційних технологій [6].

Простір проєктування відпрацювання конкретного родовища корисної копалини формується в межах технічного завдання на розробку проєкту освоєння цього родовища, в якому повинно бути оптимально визначені усі проєктні параметри, що забезпечать раціоналізацію природокористування надрами.

Для обґрунтування сучасної методології розробки технічного завдання на проєктування раціональної експлуатації балансових запасів родовища до рівня кінцевої продукції необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати гірничу технологію [7] як сукупність способів зміни природного стану надр, а також технологічні схеми гірничозбагачувального виробництва, які реалізуються у вигляді ланцюгів послідовно здійснюваних процесів;

- проаналізувати перелік і рівень складності процесів витягання з надр продукції гірничого виробництва [8], а також відповідних параметрів, які характеризують властивості цих процесів;
- обґрунтувати критерії оптимальності при розробці родовищ корисних копалин [9], оскільки у відповідності до типу корисної копалини критерії оптимальності можуть бути різними;
- проаналізувати взаємозв'язок питань при освоєнні запасів родовищ корисних копалин із завданнями, які не пов'язані із гірничими роботами [10];
- дослідити процедуру відпрацювання родовища корисної копалини та її переробки на кінцеву продукцію [11], а також перелік багатопараметричних завдань щодо гірничих процесів, обмежений різноманітними показниками родовища;
- запропонувати підходи та інструменти, характерною особливістю яких буде застосування декомпозиційного підходу [12], що дозволяє враховувати між собою непов'язані та різні за ступенем впливу параметри; розроблені рекомендації можуть бути підґрунтям для розробки відповідних засобів та систем підтримки прийняття рішень;
- обґрунтувати простір проектування [10], який обмежений різноманітними показниками родовища і можливостями власника ліцензії на розробку родовища та визначений усіма проектними параметрами.

Обґрунтування способу і системи розробки родовища, виробничої потужності і терміну дії підприємства, видів гірничо-видобувного обладнання, засобів механізації, інших проектних рішень і розрахункових параметрів слід проводити методами, які застосовуються в практиці проектування гірничодобувних підприємств, з використанням чинних галузевих норм технологічного проектування, державних будівельних норм, проектів діючих підприємств-аналогів, даних науково-технічних досліджень.

Сумарний ефект від кожного варіанту рекомендується підраховувати з використанням дійсних на момент оцінки цін, нормативів і досягнутих показників передових методів праці, новітньої техніки і прогресивної технології видобутку і переробки мінеральної сировини. Але при цьому слід зазначити, що аналогів експлуатації деяких родовищ, наприклад, золоторудних родовищ немає ні в Україні, ні в Європейському Союзі. Значний досвід і прогресивні технології вилучення з надр благородних металів існують на американському, азіатському і африканському континентах. Інтегральний сумарний економічний ефект, за якими б цінами він не розраховувався (незмінними або поточними), і який би метод обліку чинника часу при цьому не застосовувався (активний або пасивний), є відносною величиною, що служить критерієм для вибору найкращого варіанту для проекту освоєння родовища з точки зору особи, яка приймає рішення (ОПР).

Оцінка екологічного аспекту для прийняття рішень щодо стратегії освоєння родовищ полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння – оптимального з економічної точки зору, з екологічно переважним. Реалізувати процедуру порівняння цих варіантів в проекті може бути запропоновано на базі розробки методології моделювання процесу освоєння родовища на усіх етапах отримання кінцевої продукції за економічними показниками (мінімальна собівартість, прибуток) і моделювання процесу освоєння родовища

з урахуванням екологічних переваг на усіх етапах розробки і збагачення копалини. При цьому процес відпрацювання родовища слід розглядати як постійний та безперервний у часі, ефективність якого формується прийняттям рішень від стадії дослідження родовища до списання запасів.

При моделюванні зміни стану запасів родовища на кожному етапі виробничого процесу слід приймати оптимальне рішення, щодо обґрунтування раціональних параметрів експлуатації, які полягають не тільки в зменшенні собівартості видобутку але і мінімізації негативного впливу на довкілля.

Область застосування екологоорієнтованої технології оптимального проектування природокористування при розробці родовищ корисних копалин не залежить від виду корисної копалини, оскільки визначення сценарію виробництва кінцевої продукції, для конкретного родовища, повинно здійснюватися за рахунок моделювання процесу відпрацювання запасів копалини від балансових запасів до кінцевої продукції. Відповідна модель після перетворення ациклічних графів в мережу може бути оптимізована за допомогою програмного забезпечення. У перспективі така технологія може бути застосована як на критичних мінеральних ресурсах, наприклад, у вугільній галузі, так і стратегічних – рідкісних і благородних металів.

### **3. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У відповідності до завдань досліджень необхідно проаналізувати можливі варіанти при прийнятті рішень на етапах освоєння запасів конкретного родовища корисної копалини. Наприклад, у випадку розробки родовищ рідкісних і благородних металів [13], яка включає максимальну кількість етапів їх освоєння, необхідно урахувати усі варіанти розкриття таких родовищ, структуру та технологію виймання запасів із надр, переміщення гірничої маси, а також спорудження і експлуатації об'єктів енергопостачання, транспорту, забезпечення трудовими ресурсами разом із соціальною інфраструктурою, поверхневого і підземного комплексів гірничо-збагачувального підприємства.

Оскільки відпрацювання родовища корисної копалини та її переробка в кінцеву продукцію характеризується багатопараметричними завданнями щодо гірничих процесів, а також урахуванням багатьох питань, які не пов'язані з гірничими роботами, то процедура прийняття рішень альтернативними ліцензіатами (ОПР) з різними правами та можливостями з питань проектування розробки родовища в умовах обмежених ресурсів або експлуатації в несприятливих умовах потребує залучення сучасних інформаційних технологій для попереднього обґрунтування простору проектування процесів розробки родовищ.

Для раціональної розробки цінних родовищ корисних копалин з мінімальними витратами, мінімальним економічним збитком у межах екологічних вимог і максимальним прибутком потрібна погоджена взаємодія будівництва, здобичі руди і її переробки, як ланок однієї системи. Питання про можливість відображення усіх проектних параметрів гірничо-збагачувального підприємства, що будується і експлуатованого, із-за складності системи в одній моделі може розглядатися на основі динамічного програмування. При цьому процес освоєння родовища від початку до кінця необхідно представляти у вигляді декомпозиційної системи з формалізацією завдань на окремих етапах.

Серед опублікованих робіт по застосуванню динамічного програмування слід виділити роботу [14] по оптимізації процесу здобичі і переробки міді в Європі. Перший досвід рішення завдань і їх реалізації по вибору оптимальних стратегій освоєння родовищ на азійському континенті був отриманий при розгляді експлуатації цінних родовищ у вигляді невеликих кімберлітових труб і руд рідкісних і благородних металів [15, 10].

Формулювання завдання – визначення рентабельності експлуатації золоторудних родовищ, виявлених або очікуваних до відкриття, розташованих по усій території України з урахуванням інфраструктури, що склалася або запланованої, а також врахуванням зіставлення і аналізу можливостей розробника і показників родовища.

Вивчення результатів досліджень в цьому напрямі показує, що це завдання може входити в клас завдань, який охоплює мережеві і графські моделі [16, 17]. Характерною особливістю таких завдань (якщо тільки вони правильно відображають реальну ситуацію) є велика розмірність, що обумовлює необхідність пошуку ефективніших алгоритмів оптимізації [18, 19], які дозволяють б економити обчислювальні ресурси конкретних систем і забезпечувати їх гнучкість по відношенню до зміни початкових даних. Плідною основою для побудови таких алгоритмів може служити їх представлення на мережах і графах.

Таким чином, багатоваріантне завдання освоєння родовища можна представити у вигляді пошуку найкоротшого шляху в спрямованому ациклічному графі, що не містить циклів. Спрямований граф складається з непорожньої кінцевої безлічі вузлів  $S$  і підмножини  $T$  безлічі  $S \times S$ . У спрямованому ациклічному графі завжди можна помітити вузли цілими числами від 1 до  $N$  таким чином, що для кожної дуги  $(i, j)$  справедлива нерівність  $i < j$ .

На рис. 1 зображений варіант графа (європейський) з 38 вузлами, який формалізує багатоваріантну модель освоєння родовищ рідкісних і благородних металів максимально орієнтовану на українські умови. Як аналог був взятий граф [10], який включає реальні варіанти витягання цінних руд в умовах великих відстаней і територій з не досить розвиненою дорожньо-транспортною і енергетичною інфраструктурою на освоєваних територіях, та був апробований в реальних, але сибірських умовах, не порівнянних з європейськими.

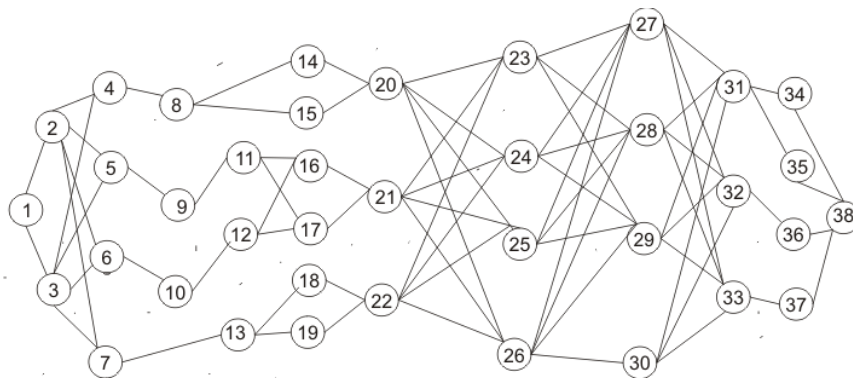


Рисунок 1. Альтернативний граф моделі європейського варіанту освоєння родовища з цінною корисною копалиною

У цьому форматі європейський варіант моделі демонстрації різноманітності можливих підходів освоєння родовищ цінних корисних копалини принципово відрізняється як з економічної точки зору, так і екологічною. Після аналізу структури моделей освоєння родовищ на півночі [13] і можливих варіантів на Україні і їх невеликого тестування [20] виявилось, що на останньому етапі моделювання процесу освоєння в сибірському варіанті графа показник прибутку необхідно прибрати, оскільки він тут не доречний. Річний прибуток від отримання кінцевої продукції є додатковим критерієм, оскільки він не входить в сценарій повної собівартості стратегії отримання золота.

Параметри моделі на етапах освоєння можна оптимізувати на мінімум за можливими критеріями, наприклад, варіант собівартості здобичі і переробки 1 тонни руди з транспортними витратами. Також можливий варіант з мінімальними приведеними витратами на 1 тонну здобутої руди.

Кінцевий баланс слід розраховувати з урахуванням ціни металу і варіантів його собівартості на тлі екологічних аспектів. У цьому полягає основна мета моделювання на передпроектному етапі підготовки технічного завдання для проектування при відомій ціні золота і орієнтовному прогнозі рівня його витягання на конкретному родовищі.

Знаходження найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 38 може бути здійснено тільки із використанням методу динамічного програмування. Детальний алгоритм знаходження найкоротшого шляху від початкового вузла до кінцевого описаний в роботі [13].

Принцип оптимальності для нашого завдання включає поняття стратегії. Стратегія визначає дугу  $(i, j)$ , що входить в кожного з вузлів  $j$ , окрім першого ( $j=1$ ). Існує безліч стратегій для цієї ациклічної мережі. Стратегія називається оптимальною для вузла  $j$ , якщо вона виявляє дуги, що утворюють найкоротший шлях від вузла 1 до вузла  $j$ . Оптимальна стратегія характеризує оптимальний сценарій освоєння родовища.

Структура описаної математичної моделі представлена в таблиці 1.

На етапах розкриття і видобутку руди йдеться не про вибір найбільш оптимального способу розкриття або розробки, а про розрахунок основних техніко-економічних показників експлуатації родовища. Модель дозволяє розраховувати оптимальні параметри систем розробки з ув'язкою можливих варіантів розкриття. Вибір варіантів розкриття і здобичі відбувається на стадії підготовки початкових даних.

Для оптимізації параметрів на етапах зміни стану балансових запасів родовищ корисних копалини розроблена сучасна комп'ютерна «Програма динамічного програмування альтернативного графа на мінімум «DinMin.v2\_2019» [21], яка призначена для вибору сценарію освоєння родовищ корисних копалин з мінімальними витратами, мінімально можливими збитками і максимальним прибутком з урахуванням взаємодії екологічних норм будівництва, видобутку, транспорту та переробки, як ланок однієї системи, яка працює на кінцевий результат у вигляді ринкового товару.

*Таблиця 1. Табличний опис альтернативного графа процесу зміни стану запасів родовища руд цінних металів з урахуванням екологічних аспектів освоєння надр (європейський варіант)*

Етап освоєння	Найменування етапів процесу зміни стану запасів	Номер циклу	Зміна системи в циклі	Сенс логічної змінної	Значення дуги	Довжина дуги, умовні одиниці
1	2	3	4	5	6	7
0	Запаси затверджені і передані на баланс			Початок процесу		
1	Запаси в стані моделювання сценаріїв зміни стану запасів корисної копалини	1	2	Визначення оптимальної економічної стратегії вилучення кінцевої продукції з надр	$S^1_1$	1
		1	3	Визначення стратегії та оцінка екологічних переваг на етапах освоєння запасів родовища	$S^2_1$	1
2	Запаси в стані забезпеченості трудовими ресурсами	2	4	Витрати на промислові об'єкти при розширенні житла у базовому селищі	$S^1_2$	11
		2	5	Витрати на не промислові об'єкти при розширенні житла у базовому селищі при експедиційному методі освоєння родовища	$S^2_2$	21
		2	6	Витрати при вахтовому методі освоєння	$S^3_2$	13
		2	7	Витрати при будівництві нового селища на родовищі	$S^4_2$	19



		3	4	Екологічні аспекти промислових об'єктів з обліком збереження базового селища	$S^5_2$	40
		3	5	Екологічні аспекти промислових об'єктів з урахуванням експедиційного методу освоєння	$S^6_2$	40
		3	6	Екологічні аспекти промислових об'єктів з урахуванням вахтового методу освоєння	$S^7_2$	40
		3	7	Екологічні аспекти промислових об'єктів з урахуванням будівництва селища на родовищі	$S^8_2$	40
3	Запаси в стані забезпеченості транспортними зв'язками	4	8	Витрати на перевезення трудящих від базового селища	$S^1_3$	12
		5	9	Витрати на перевезення трудящих від базового селища до родовища авіатранспортом при експедиційному методі освоєння	$S^2_3$	22
		6	10	Витрати на перевезення трудящих від базового селища до родовища авіатранспортом при вахтовому методі освоєння	$S^3_3$	32
4	Запаси в стані забезпеченості не промисловими об'єктами	9	11	Витрати на соціально-культурні потреби при будівництві експедиційного селища з авіатранспортом	$S^1_4$	13

		10	12	Витрати на соцкульт- побут при вахтовому методі з авіатранспор- том	$S^2_4$	23
		7	13	Витрати на соцкульт- побут при будівництві нового селища на ро- довищі	$S^3_4$	11
5	Запаси в стані енергоозброє- ності	8	14	Витрати на лінію еле- ктропередач (відпаю- вання від ЛЕП)	$S^1_5$	14
		8	15	Витрати на ДЕС в се- лищі (установка і об- слуговування)	$S^2_5$	14
		11	16	Витрати на лінію еле- ктропередач при експе- диційному методі освоєння	$S^3_5$	34
		11	17	Витрати на ДЕС на родовищі при експе- диційному методі освоєння	$S^4_5$	34
		12	16	Витрати на ЛЕП при вахтовому методі освоєння	$S^5_5$	39
		12	17	Витрати на ДЕС при вахтовому методі освоєння	$S^6_5$	39
		13	18	Витрати на ЛЕП при будівництві селища на родовищі	$S^7_5$	44
		13	19	Витрати на ДЕС при будівництві селища на родовищі	$S^8_5$	44

6	Запаси в стані забезпеченості промисловими об'єктами	14	20	Витрати на будівництво промислових об'єктів при збереженні базового селища	$S^1_6$	16
		15	20	Витрати на будівництво промислових об'єктів при збереженні базового селища	$S^2_6$	16
		16	21	Витрати на промислове будівництво на родовищі при вахтовому або експедиційному методі	$S^3_6$	30
		17	21	Витрати на промислове будівництво на родовищі при вахтовому або експедиційному методі	$S^4_6$	30
		18	22	Витрати на будівництво промислових об'єктів при будівництві селища на родовищі	$S^5_6$	35
		19	22	Витрати на будівництво промислових об'єктів при будівництві селища на родовищі	$S^6_6$	35
7	Запаси в стані розкриття	20	23	Витрати на розкриття геологічними виробками	$S^1_7$	16
		20	24	Витрати на реконструкцію під локомотивний транспорт	$S^2_7$	16
		20	25	Витрати на реконструкцію під самохідний транспорт	$S^3_7$	16

		20	26	Витрати на розкриття по незалежному варіанту	$S^4_7$	16
		21	23	Витрати на розкриття геологічними виробками	$S^5_7$	20
		21	24	Витрати на реконструкцію під локомотивний транспорт	$S^6_7$	20
		21	25	Витрати на реконструкцію під самохідний транспорт	$S^7_7$	20
		21	26	Витрати на розкриття по незалежному варіанту	$S^8_7$	20
		22	23	Витрати на розкриття геологічними виробками	$S^9_7$	20
		22	24	Витрати на реконструкцію під локомотивний транспорт	$S^{10}_7$	20
		22	25	Витрати на реконструкцію під самохідний транспорт	$S^{11}_7$	20
		22	26	Витрати на розкриття по незалежному варіанту	$S^{12}_7$	20
8	Запаси в стані вилучення з надр	23	27	Витрати на здобич системою розробки з магізинуванням на геологічні виробки	$S^1_8$	17
		23	28	Витрати на здобич суцільною системою розробки на геологічні виробки	$S^2_8$	17

		23	29	Витрати на здобич комбінованою системою розробки на геологічні виробки	$S^3_8$	17
		24	27	Витрати на здобич системою розробки з магазинуванням на реконструйовані геологічні виробки під локомотивний транспорт	$S^4_8$	27
		24	28	Витрати на здобич суцільною системою розробки на реконструйовані геологічні виробки під локомотивний транспорт	$S^5_8$	27
		24	29	Витрати на здобич комбінованою системою розробки на реконструйовані геологічні виробки під локомотивний транспорт	$S^6_8$	27
		25	27	Витрати на здобич системою розробки з магазинуванням на реконструйовані геологічні виробки під самохідний транспорт	$S^7_8$	33
		25	28	Витрати на здобич суцільною системою розробки на реконструйовані геологічні виробки під самохідний транспорт	$S^8_8$	33

		25	29	Витрати на здобич комбінованою системою розробки на реконструйовані геологічні виробки під самохідний транспорт	$S^9_8$	33
		26	27	Витрати на здобич системою розробки з магазинуванням при незалежному розкритті	$S^{10}_8$	44
		26	28	Витрати на здобич суцільною системою розробки при незалежному розкритті	$S^{11}_8$	44
		26	29	Витрати на здобич комбінованою системою розробки при незалежному розкритті	$S^{12}_8$	44
		26	30	Витрати на здобич системою розробки підповерховими штреками при незалежному розкритті	$S^{13}_8$	44
9	Запаси в стані переміщення	27	31	Витрати на транспортування гірської маси до старої фабрики автотранспортом (на дорозі)	$S^1_9$	18
		27	32	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою по дорозі	$S^2_9$	18
		27	33	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою на родовищі	$S^3_9$	18

		28	31	Витрати на транспортування гірської маси до старої фабрики автотранспортом (на дорозі)	S <sup>4</sup> <sub>9</sub>	26
		28	32	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою по дорозі	S <sup>5</sup> <sub>9</sub>	26
		28	33	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою на родовищі	S <sup>6</sup> <sub>9</sub>	26
		29	31	Витрати на транспортування гірської маси до старої фабрики автотранспортом (на дорозі)	S <sup>7</sup> <sub>9</sub>	33
		29	32	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою по дорозі	S <sup>8</sup> <sub>9</sub>	33
		29	33	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою на родовищі	S <sup>9</sup> <sub>9</sub>	33
		30	31	Витрати на транспортування гірської маси до старої фабрики	S <sup>10</sup> <sub>9</sub>	29
		30	32	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою по дорозі	S <sup>11</sup> <sub>9</sub>	29
		30	33	Витрати на транспортні зв'язки з новою фабрикою на родовищі	S <sup>12</sup> <sub>9</sub>	29

10	Запаси в стані переробки на збагачувальній фабриці	31	34	Витрати на виробництво металу на старій фабриці	$S^1_{10}$	19
		31	35	Витрати на виробництво металу на фабриці, що реконструюється	$S^2_{10}$	19
		32	36	Витрати на виробництво металу на новій фабриці в селищі	$S^3_{10}$	39
		33	37	Витрати на виробництво металу на новій фабриці на родовищі	$S^4_{10}$	49
11	Запаси в стані списання з балансу	34	38	Переробка запасів на старій фабриці	$S^1_{11}$	1
		35	38	Переробка запасів на реконструйованій фабриці	$S^2_{11}$	1
		36	38	Переробка запасів на новій фабриці в селищі	$S^3_{11}$	1
		37	38	Переробка запасів на новій фабриці на родовищі	$S^4_{11}$	1
12	Запаси списані з балансу	37	0	Кінець процесу		

За результатами обчислювальних експериментів визначаються параметри відробітку родовища в грошовому вираженні, на підставі яких можна зробити промислову економічну оцінку цього родовища. В якості вихідних показників моделі являються вартість витягання з 1 тонни руди корисних компонентів, повна собівартість здобичі, транспортування і переробки 1 тонни руди, майбутні приведені витрати на 1 тону здобутої руди, питомі капітальні витрати на освоєння запасів родовища, річний прибуток від отримання кінцевої продукції, вартість витягуваних з надр корисних копалини.

Безумовно, показники, які виходять при моделюванні етапів освоєння родовища, не можуть розглядатися в якості остаточних значень параметрів, що управляють. Вони мають рекомендаційний характер, який дозволяє гірникам



на передпроектній стадії приймати рішення по доцільності або черговості відробітку аналогічних родовищ.

Крім того, аналогічна процедура моделювання процесів зміни стану запасів родовищ дозволяє геологам виявляти найбільш «перспективні» площі для пошуків відповідної корисної копалини.

Розрахунки також можуть показати мінімальний по запасах розмір родовища, доступного для експлуатації вахтовим або експедиційним методами. Шляхом багатократних варіантних розрахунків можна обґрунтувати зміну кондицій.

Розроблена програма динамічного програмування дозволяє оцінити не лише економічну перевагу, але і екологічну [22]. Для цього необхідно вершини графа упорядкувати відповідно до оцінки незалежної експертизи екологічних переваг. При оптимізації такої моделі рекомендується стратегія по найбільш екологічно переважному сценарію освоєння запасів родовища. При зіставленні економічної і екологічної оптимальних стратегій освоєння, в яких альтернативи відповідають ГДК (гранично допустима концентрація), різниця витрат визначає об'єм фінансування на екологію при витяганні відповідних запасів з надр. Якщо варіант етапу процесу освоєння явно екологічно не прийнятний, то відповідну вершину графа можна обважнювати, щоб вона не потрапила в стратегію.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За допомогою інструментарію оцінки ухвалення рішень [6] можна знайти раціональний варіант сценарію освоєння реального родовища з урахуванням існуючої інфраструктури, цін на послуги і товари, можливостей існуючого гірничо-збагачувального устаткування і цін на метал, а також обліку екологічних аспектів на окремих етапах.

Підрахований оптимальний шлях – мінімум за собівартістю на 1 тонні руди на етапах освоєння родовища до отримання кінцевої продукції (рис. 2). Шлях позначає найкращі етапи стратегії відпрацювання родовища: 1 – 3 – 4 – 8 – 14 – 20 – 23 – 27 – 31 – 34 – 38 (довжина шляху – 125 умовних одиниць).

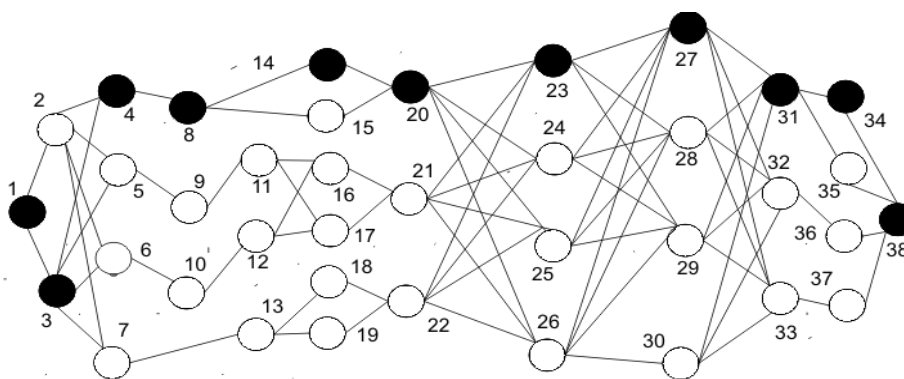
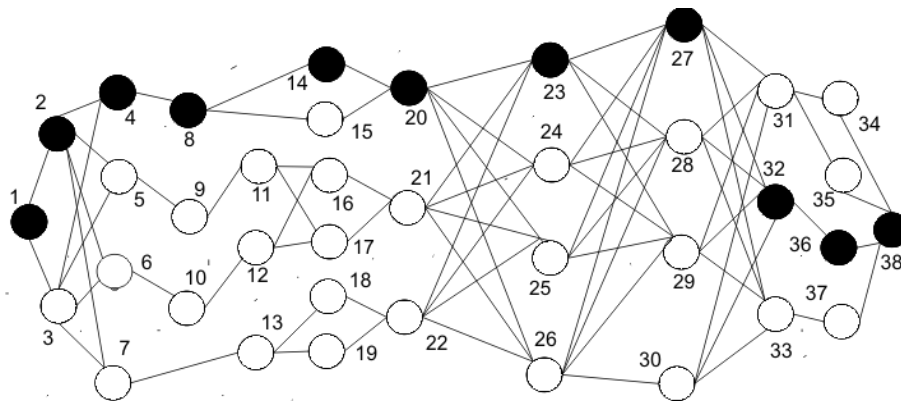


Рисунок 2. Визначення стратегії відпрацювання родовища

З урахуванням розроблених інструментів оцінки екологічних аспектів в різних сценаріях освоєння родовищ був прорахований варіант сценарію освоєння з урахуванням ліквідації старої збагачувальної фабрики. В даному випадку оптимальна стратегія пролягає через вершини: 1–2–4–8–14–20–23–27–32–36–38. Довжина шляху – 145 одиниць (рис. 3). Виконуючи такі попередні розрахунки можна зрозуміти слабкі і сильні сторони рішень на етапах освоєння родовища.

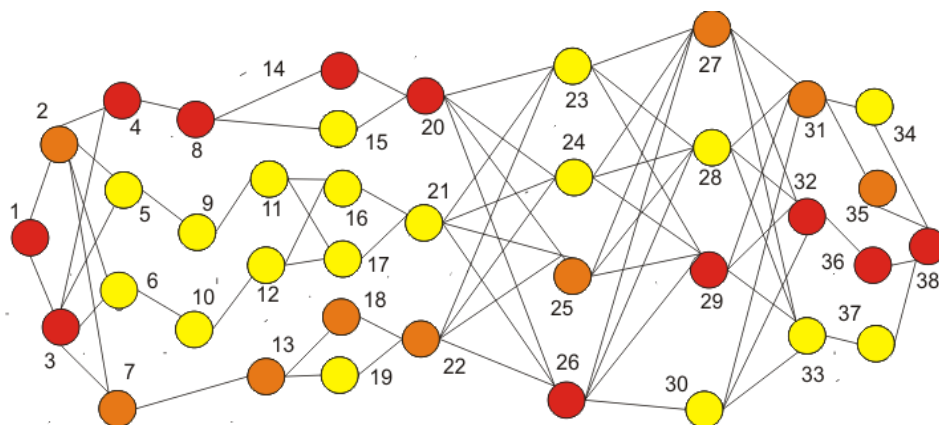


*Рисунок 3. Варіант сценарію освоєння родовища з урахуванням ліквідації старої збагачувальної фабрики*

На рис. 4 приведена демонстрація потенціалу розвитку досліджень в напрямку оптимізації мережевих моделей методом динамічного програмування, який достатній для здійснення економічної оцінки екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалини з урахуванням існуючої інфраструктури, цін на послуги і товари, можливостей існуючого гірничо-збагачувального устаткування та ціни на метал. Процедура такої оцінки полягає у фінансовому порівнянні двох сценаріїв освоєння – оптимального з економічної точки зору із екологічно переважним.

Як приклад представлені варіанти з урахуванням можливого екологічного рейтингу технічних рішень (червоно-помаранчево-жовтий) на етапах освоєння родовища, який повинні формувати незалежні експерти по екології на стадії попередньої оцінки з точки зору економіки і раціонального природокористування.

Найбільш екологічно (попередня думка) прийнятий варіант позначений червоним кольором. Сценарій: 1 – 3 – 4 – 8 – 14 – 20 – 26 – 29 – 32 – 36 – 38 (довжина шляху – 173 одиниці). Поступається цьому варіанту (сценарій з вершинами помаранчевого кольору) з вершинами: 1 – 2 – 7 – 13 – 18 – 22 – 25 – 27 – 31 – 35 – 38 (довжина шляху – 202 одиниці). Інші вершини жовтого кольору в сценаріях освоєння родовища, які явно поступаються описаним двом варіантам.



*Рисунок 4. Ілюстрація можливих варіантів експлуатації родовища з позиції екологічних переваг*

Реалізація усіх варіантів (оптимальних і тим більше екологічних) залежить від показників витягнуваного вмісту металу із здобутої руди і його ціни на Лондонській біржі металів.

## 5. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Потенціал розвитку досліджень найважливіших функціональних характеристик щодо наукомістких процедур ухвалення рішень та складних багатопараметричних гірничих процесів із додатковими станами, які не мають прямого відношення до гірничих робіт, а також оцінки ефективності технологічних схем з позиції економічних й екологічних переваг, достатній для створення технології оптимального проектування природокористування.

Ресурс цього потенціалу спирається на запатентовані авторами комп'ютерні програми з сучасним інтерфейсом [6], які реалізують класичні світові алгоритми дискретної математики по оптимізації багатопараметричних завдань Е. Дейстри [23, 24], Р. Флойда [25], Р. Беллмана [14, 26], маржинального вибору економічних параметрів [27, 28], а також вибір критеріїв в умовах невизначеності [29, 30].

Досвід досліджень в цьому напрямі спирається на реалізацію представленого ресурсу розрахунками на реальних виробничих об'єктах [28, 31, 32], та показує, що дана методологія працює і у форматі ринкової економіки дає класичні результати за умови достовірності початкових даних.

Застосування відомих методів оптимізації і критерії ефективності із залученням сучасних інформаційних технологій у вигляді спеціалізованих комп'ютерних програм дозволяє на стадії передпроектної підготовки розробити завдання на проектування конкретного родовища у вигляді «Технічне завдання на розробку проекту раціонального освоєння родовища корисних копалин».

Подальша реалізація екологоорієнтованої технології оптимального проектування інтенсифікації гірничо-збагачувальних процесів при розробці родо-

вищ корисних копалин передбачає використання у якості сучасного інструментарію пакет спеціалізованих програм – об'єктів інтелектуальної власності (ОІВ), за допомогою якого під час проведення досліджень можуть бути вирішені складні завдання щодо вибору оптимальних комплектацій очисного обладнання; знаходження найкоротших маршрутів в мережевій моделі; динамічного програмування альтернативного графа на мінімум; визначення раціонального рівня продукції та прийняття рішень в умовах невизначеності.

Технологія оптимального проектування інтенсифікації гірничо-збагачувальних процесів при розробці родовищ корисних копалин базується на попередній фіксації можливих змін усіх параметрів багатопараметричної моделі сценарію освоєння родовища. Фактично для проекту розробки реального родовища із усіма його геолого-технічними даними на конкретній території та фінансовими та іншими ресурсами власника ліцензії з правом на користування надрами, визначається раціональна область проектування для ефективної експлуатації надр.

Область простору проектування раціонального природокористування надрами характеризується:

- визначенням параметрів гірничих процесів, які супроводжують видобуток, збагачення, переробку копалин;
- забезпеченням екологоорієнтованого проектування економічної та екологічної стратегії відпрацювання родовищ;
- прийняття рішень із позиції відокремленості у просторі та безперервності у часі;
- інструментарієм у вигляді сучасного програмного забезпечення із застосуванням декомпозиційного підходу.

## **6. ВИСНОВКИ**

Основою методології технології оптимального проектування інтенсифікації гірничо-збагачувальних процесів при розробці родовищ корисних копалин України є результати досліджень щодо інтенсифікації видобутку корисних копалин з урахуванням поетапної зміни стану їх балансових запасів.

Вперше запропоновано для раціонального природокористування в якості способу активного керування станом гірничого масиву при відпрацюванні родовищ корисних копалин здійснювати моделювання за екологічними та економічними критеріями мережі гірничих процесів у вигляді поетапної зміни стану їх запасів від балансових до кінцевої продукції (включаючи відходи виробництва) методом динамічного програмування, у відповідності до якого прийняті рішення на кожному етапі мають бути найкращими відносно процесу в цілому [33].

У зв'язку з вищевикладеними гірничо-геологічними умовами раціонального вилучення гірничої маси з надр можливі тільки при сумісному опрацюванні геологів та гірників технологічних регламентів у вигляді «Технічного завдання на розробку проекту раціонального освоєння родовища корисних копалин», в якому заздалегідь оптимально визначаються усі проектні параметри для забезпечення ефективного природокористування надрами. Перелік та формат проектних параметрів повинен базуватися на обґрунтуванні простору, який

обмежений показниками родовища і можливостями розробника та визначений усіма технологічними параметрами, що можуть забезпечити раціональну експлуатацію родовища.

Послідовність виконання обов'язкових завдань при виконанні технічного завдання наступна:

- визначається раціональний обсяг продукції гірничо-збагачувального підприємства із максимальним прибутком або мінімальними збитками в короткостроковому періоді;

- визначається оптимальний сценарій виробництва кінцевої продукції для конкретного родовища на базі процедури класичного методу динамічного програмування багатопараметричного процесу відпрацювання надр;

- обґрунтовується область ефективної експлуатації родовища із здійсненням економічної оцінки екологічного аспекту виробництва кінцевої продукції.

Крім того, аналогічна процедура моделювання процесів зміни стану запасів родовищ при їх освоєнні дає можливість геологам виявляти найбільш «перспективні» площі для пошуків відповідної корисної копалини.

Таким чином, на основі достовірної геолого-гірничої інформації про стан родовища і сучасних гірничо-збагачувальних технологій, а також за наявності класичних обчислювальних методів можна реалізовувати потенціал розвитку фундаментальних досліджень щодо створення технології оптимального проектування ефективного освоєння родовища корисних копалин.

Результати досліджень в цьому напрямку можуть бути застосовані при створенні потужних якірних проєктів з нарощування власного мінерально-сировинного комплексу України, які закладуть фундамент для формування позитивного іміджу країни на світовому ринку. Це в свою чергу буде прикладом перетворення нових знань в конкретні прикладні розробки і технології та може призвести до нових якісних зрушень в економіці країни.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грінюв, В.Г. & Хорольський, А.О. (2018). Можливості ефективного освоєння рудних родовищ із запасами рідкісних і благородних металів. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (20), 113-122.

2. Грінюв, В.Г. Деуленко А.И., Николаев П.П., & Череповский П.В. (2013). Технологические аспекты физики горных процессов. *Наукові праці Укр НДМІ НАН України* (13, частина I), 197-208.

3. Хорольский А. & Гринев В. (2018). Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых. *Геология и охрана недр*, (68), 68-75.

4. Геєць В. (2022). Економіка України в імперативах низьковуглецевого розвитку. *Наукові праці «Інститут економіки та прогнозування НАН України»*.

5. Гринев, В. & Хорольський, А. (2019). Моделирование сценария освоения месторождений ценных руд на условиях динамического программирования. *II Бекжановские чтения: материалы международной конференции*, Алматы, Республика Казахстан, 114-119.

6. Грінюв, В. & Хорольський, А. (2021). Нові підходи і результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*. (23), 178-203.

7. Горная энциклопедия. (1999). М.: Сов. энциклопедия.

8. Хорольський, А. & Гринева, В. (2020) Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (22), 118-140.
9. Грінюв, В. & Хорольський, А. (2019). Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*. (21), 124-145.
10. Гринева, В. (1992). Решение проблем разработки рудных месторождений Севера. *Новосибирск: ВО "Наука"*, 205 с.
11. Хорольський А. & Гринева В. (2018). Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых. *Геология и охрана недр*, (68), 68-75.
12. Грінюв, В. & Хорольський, А. (2020). Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*. – №2, 19-24.
13. Гринева, В., Изаксон, В. & Зубков, В. (1999). *Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений*. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 215 с.
14. Shwartz, W. (1968). Dynamisches Programmierverfahren erläutert am Beispiel der Optimierung von Kupfer Gewinnungsverfahren, *Erzmetall*. – №10, 455-460.
15. Гринева, В., & Слепцов, А. (1989). Поиск и результаты исследований в направлении повышения эффективности разработки рудных месторождений Севера. *Повышение эффективности освоения рудных месторождений Севера*. ЯНЦ СО АН СССР, 3-16.
16. Барвайс Д. (1982). *Справочная книга по математической логике*. Москва: Наука, 400 с.
17. Зыков А. (1987) Основы теории графов. Москва: Наука, 384 с.
18. Шуп, Т. (1982). Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство. Москва: Мир, 238 с.
19. Асельдоров М., & Донец Г. (1991). Киев: Наукова думка, 96 с.
20. Грінюв, В., Хорольський, А. & Каліушенко, О. (2019). Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (2), 46-50.
21. Грінюв, В. & Хорольський, А. (2020). Комп'ютерна програма «Програма динамічного програмування альтернативного графу на мінімум» («Din\_Min.v2\_2019»). *Авторське право та суміжні права*, (58).
22. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environment strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463-471.
23. Майника, Э. (1981). *Алгоритмы оптимизации на сетях и графах*. М.: Мир. 323 с.
24. Dijkstra E.W., A (1959) *Note on Two Problems in Connexion with Graphs*. *Numer Math.*, 1, p. 269-271.
25. Floyd, R. (1962). *Algorithm 97, Shortest Path*, *Comm. ACM*, (5), 345.
26. Моудерав, Д. & Элмаграби. С. (1984) *Исследование операций* // в 2-х т. Пер. с англ.: М.: Мир., – Т.1, 712 с. – Т.2 (1987), 264 с.
27. Макконнелл К. Р. (1993) *Экономика: принципы, проблемы, политика* / К. Р. Макконнелл, С. Л. Брю. – В 2-х т. Пер. с англ. 11-го изд. Т 2 – М.: Республика. 399 с.
28. Амоша А., Логвиненко В., & Гринева В. (2007). *Комплексное освоение угольных месторождений Донецкой области*: монография. Донецк: Институт экономики промышленности НАН Украины. 216 с.
29. Кофман А. (1978.) *Введение в прикладную комбинаторику*. М.: Мир, 479 с.

30. Khorolskyi, A. & Hrinov, V., (2018). Proektuvannia tekhnolohichnykh skhem hirnychoho vyrobnytstva v umovakh nevyznachenosti. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (20), 132-146.

31. Hrynev, V., Cherepovskiy, P. & Deulenko, A. (2015). *Ynnovatsyonnye perspektivy ekspluatatsyy uholnykh plastov krutoho padenyia*. Dnepr: Porohy, 180 p.

32. Khorolskyi, A. & Hrinov, V. (2020). Vyznachennia ratsionalnoho obsiahu vyluchennia korysnykh kopalyn iz nadr: marzhynalni pidkhid. *Ekonomika promyslovosti*, 3(91), 82-95. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.082>

33. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 201, p. 01030). EDP Sciences.

## REFERENCES

1. Hrinov, V.H. & Khorolskyi, A.O. (2018). Mozhlyvosti efektyvnoho osvoiennia rudnykh rodovyshch iz zapasamy ridkisnykh i blahorodnykh metaliv. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (20), 113–122.

2. Grin'ov, V.G. Deulenko A.I., Nikolayev P.P., & Cherepovskiy P.V. (2013). Tekhnologicheskiye aspekty fiziki gornykh protsessov. *Naukovi pratsi Ukr NDMÍ NAN Ukraini* (13, chastina I), 197-208.

3. Khorolskyi, A. & Grinev V. (2018). Vybory scenariya osvoeniya mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh. *Geologiya i ohrana nedr*, (68), 68–75.

4. Geec' V. (2022). *Ekonomika Ukraini v imperativah niz'kovuglecevogoz rozvitku. Naukovi praci «Institut ekonomiki ta prognozuvannja NAN Ukraini»*.

5. Grinev, V. & Horol'skij, A. (2019). Modelirovanie scenariya osvoeniya mestorozhdenij cennykh rud na usloviyah dinamicheskogo programmirovaniya. In *II Bekzhanovskie chteniya*, 114-119.

6. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2021). Novi pidkhody i rezultaty doslidzhen po ratsionalizatsiyi vidpratsyuvannya rodovyshch korysnykh kopalyn *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*. (23), 178-203. <https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.012>

7. *Hornaia entsyklopedyia*. (1999). M.: Sov. entsyklopedyia.

8. Khorolskyi, A. & Hrynov, V. (2020) Otsinka i vybir parametriv pry rozrobtitsi rodovyshch korysnykh kopalyn. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (22), 118–140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>

9. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2019). Optymalne proektuvannia parametriv hirnychozbahachuvalnykh pidpriemstv dlia ratsionalnoho osvoiennia tsinnykh rodovyshch Ukrainy. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*. (21), 124-145.

10. Grinev, V. (1992). *Reshenie problem razrabotki rudnykh mestorozhdenij Severa*. Novosibirsk, Nauka, 205.

11. Khorolskyi, A. & Grinev V. (2018). Vybory scenariya osvoeniya mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh. *Geologiya i ohrana nedr*, (68), 68–75.

12. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2020). Doslidzhennia osnov tekhnolohiyi optymal'noho proektuvannya ratsional'noho korystuvannya rodovyshchamy tsinnykh kopalyn. *Mineral'ni resursy Ukrainy*, (2), 9–24.

13. Hrynev, V., Yzakson, V. & Zubkov, V. (1999). *Reshenye hornykh zadach na EVM pry osvoenyy rudnykh mestorozhdeniy*. Novosybyrsk: Nauka, Sybyrskaya yzdatelskaya firma RAN, 215 p.

14. Shwarts, W. (1968). Dynamisches Programmierew erlautert am Beispiel der Optimierung von Kupfer gewinnungsverfahren, *Erzmetall*. – №10, 455-460.

15. Grinev, V., & Sleptsov, A. (1989). Poisk i rezul'taty issledovaniy v napravlenii povysheniya effektivnosti razrabotki rudnykh mestorozhdeniy Severa. *Povysheniye effektivnosti osvoyeniya rudnykh mestorozhdeniy Severa*. YANTS SO AN SSSR, 3-16.
  16. Barvays D. (1982). *Spravochnaya kniga po matematicheskoy logike*. Moskva: Nauka, 400 s.
  17. Zykov A. (1987) *Osnovy teorii grafov*. Moskva: Nauka, 384 s.
  18. Shup, T. (1982). *Reshenye ynzhenerykh zadach na EVM: prakticheskoe rukovodstvo*. Myr, 238 p.
  19. Asel'dorov M., & Donets G. (1991). *Grafu*. Kiyev: Naukova dumka, 96 s.
  20. Hrinov, V., Khorolskyi, A. & Kaliushhenko, O. (2019). Rozroblennja ekologichnyh scenariiv efektyvnogo osvoyennja cinnyh rodovyshh korysnyh kopalyn. *Mineral'ni resursy Ukrainy*, (2), 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>
  21. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2020). Kompiuterna prohrama «Prohrama dynamichnoho prohramuvannia alternatyvnoho hrafu na minimum» («Din\_Min.v2\_2019»). *Avtorske pravo ta sumizhni prava*, (58).
  22. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushhenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environment alstrategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463-471.
  23. Majnika, E. (1981). *Algoritmy optimizacii na setyah i grafah*. M.: Mir. 323 s.
  24. Dijkstra E.W., A (1959) *Note on Two Problems in Connexion with Graphs*. *Numer Math.*, 1, 269-271.
  25. Floyd, R. (1962). *Algorithm 97, Shortest Path, Comm. ACM*, (5), 345.
  26. Mouderv, Dzh. & Ehlmagrab, S. (1984). *Issledovanie operacij*, M.: Mir. V.1. – 712 s. V.2 – 264 s.
  27. Makonnell, K.R., & Brju, S.L. (1993). *Ekonomyks. Pryncypi, problemi i polytyka*. M.: Respublyka, 799 p.
  28. Amosha, A., Logvinenko, V. & Grinev, V. (2007). *Kompleksnoe osvoenie ugol'nyh mestorozhdenij Doneckoj oblasti*, 216 p.
  29. Kofman A. (1978) *Vvedeniye v prikladnyu kombinatoriku*. M.: Mir., 479 s.
  30. Khorolskyi, A. & Hrinov, V., (2018). Proektuvannia tekhnologichnykh skhem hirnychoho vyrobnyctva v umovakh nevyznachenosti. *Fyzyko-tekhnicheskyye problemy hornoho proyzvodstva*, (20), 132–146.
  31. Hrynev, V., Cherepovskyi, P. & Deulenko, A. (2015). *Ynnovatsyonnye perspektivy ekspluatatsyy uholnykh plastov krutoho padeniya*. Dnepr: Porohy, 180 p.
  32. Khorolskyi, A. & Hrinov, V. (2020). Vyznachennia ratsionalnoho obsiahu vyluchennia korysnykh kopalyn iz nadr: marzhynalny pidkhyd. *Ekonomika promyslovosti*, 3(91), 82–95. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.082>
- Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 201, p. 01030). EDP Sciences.

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Аналіз наявних ресурсів досліджень щодо створення технології оптимального проектування природокористування шляхом оцінки можливості розрахунків порівняння економічного та екологічного варіантів сценаріїв освоєння родовища.

**Методика.** Європейський варіант моделі демонстрації різноманітності можливих сценаріїв освоєння родовищ може бути реалізований як відображення поетапної зміни стану запасів родовища у період їх експлуатації у вигляді



ациклічного графа і після його перетворення в мережу може бути оптимізований за допомогою відповідного програмного забезпечення.

**Результати.** Демонстрація потенціалу розвитку досліджень в напрямку оптимізації мережевих моделей методом динамічного програмування, який достатній для здійснення економічної оцінки екологічного аспекту освоєння родовищ корисних копалини, приведена на прикладі розрахунків в умовах реальних родовищ.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано для раціонального природокористування в якості способу активного керування станом гірничого масиву при відпрацюванні родовищ корисних копалин здійснювати моделювання за екологічними та економічними критеріями мережі гірничих процесів у вигляді поетапної зміни стану їх запасів від балансових до кінцевої продукції (включаючи відходи виробництва) методом динамічного програмування, у відповідності до якого прийняті рішення на кожному етапі мають бути найкращими відносно процесу в цілому.

**Практична значимість.** На основі достовірної геолого-гірничої інформації про стан родовища і сучасних гірничо-збагачувальних технологій, а також за наявності класичних обчислювальних методів можна реалізовувати потенціал розвитку фундаментальних досліджень щодо створення технології оптимального проектування ефективного освоєння родовища корисних копалин.

**Ключові слова:** раціональне природокористування, відпрацювання родовищ, екологія, технологія проектування, комп'ютерна програма, моделювання сценаріїв, динамічне програмування, інновація

## ABOUT AUTHORS

**Hrinov Vladimir,** Doctor of Technical Science, Professor, Head of laboratory, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: grinevv@i.ua

**Khorolskyi Andrii,** Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49005. E-mail: khorolskiyaa@ukr.net