

Розділ 4. Техніко-економічні проблеми горного виробництва

УДК 622.22.553.4:519.85

<https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>

ОЦІНКА І ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

А.О. Хорольський^{1*}, В.Г. Грінюв¹

¹Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна

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

SELECTION OF PARAMETERS FOR THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS

A.O. Khorolskyi^{1*}, V.G. Hrinov¹

¹Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: khorolskiyaa@ukr.net

ABSTRACT

Purpose. To develop a new approach to the effective development of mineral deposits by creating optimal design technology.

Methodology. To model the process of developing mineral deposits, a dynamic programming model is proposed that allows you to develop strategies for the optimal process of designing, developing, operating. To make decisions at the stage of parameter estimation, a decomposition approach is applied. For decision making, algorithms and methods of dynamic programming are proposed.

Findings. A new approach to the estimation and selection of parameters is presented, a characteristic feature of which is that the mineral itself is not considered “as a final product” that should be extracted, but only as an intermediate link in the structure of energy generation, metal smelting, etc. This allows us to consider operation process due to changes in stock status, which in turn forms a development strategy. The development strategy provides for the construction of scenarios (economic, environmental) within the framework of which a “narrow” task is solved related to the organization of work, cost optimization, etc.

Originality. For the first time, a mechanism is described for shaping the efficiency of field development, which provides for a hierarchical structure based on the category of “quality”, which in turn forms strategies; strategies form scenarios, and scenarios contain parameters; optimization of each parameter involves the assessment of priority control factors. For the first time, an algorithm has been proposed for the optimal design of development of a mineral deposit, which involves determining the volume of production, minimizing risks, determining parameters that meet the optimality criterion and their further optimization.

Practical implications. For the first time, methods and results of studies on the optimal design of the exploitation parameters of deposits of valuable minerals of Ukraine are proposed, which are the basis of the methodology for solving complex problems of optimizing the parameters of a mining and processing enterprise and correspond to the modern level of information technology.

Keywords:: rare and precious metals, opening of a deposit, dynamic programming, inventory status, algorithm, software, optimization, effective operation, anchored project, investment attractiveness

1. ВСТУП

Надра нашої країни наділені багатством у вигляді десятків видів корисних копалин, при цьому належного їх освоєння нема. Незалежно від виду копалини існують спільні проблеми, спільні обмежувальні фактори, організаційні прорахунки та чинники, що відбиваються на кінцевій ефективності процесу отримання кінцевої продукції. Якщо існують спільні проблеми, то, мабуть, існують і спільні рішення цих проблем, саме вирішенню проблеми вибору та оцінки параметрів процесу розробки родовищ корисних копалин присвячена наведена робота.

Для ефективного освоєння родовища необхідно відповісти на кілька питань: який критерій слід обрати при оцінці ефективності; які параметри слід враховувати при розробці родовищ; яким чином узгодити у часі виробничі процеси; який механізм формування кінцевої ефективності; які інструменти слід застосувати для прийняття рішення? Відповіді на ці питання будуть приведені у цьому дослідженні.

В роботі [1] зазначено, що усі заходи у вигляді реструктуризації, модернізації, закриття підприємств або збільшення підтримки з боку держави не дали суттєвого збільшення продуктивності. Це пояснюється тим, що на стадії проектування у особи, що приймає рішення (ОПР) виникає ряд стратегічних питань (наведено у порядку значимості):

- по-перше, необхідно відповісти на питання, що є критерієм ефективності?;
- по-друге, необхідно відповісти на питання для якої області отримане рішення буде оптимальним?;
- по-третє, треба визначити який об'єм виробництва слід запровадити, скільки треба видобути?;
- по-четверте, яким чином урахувати у часі технологічні процеси з видобутку, транспортування, переробки корисної копалини?;
- по-п'яте, яким чином мінімізувати ризики виробництва?

Лише після відповіді на ці п'ять стратегічних питань можна перейти до підвищення ефективності процесу виробництва, а саме оптимізації параметрів експлуатації родовищ корисних копалин. Отже, перший прорахунок ще на стадії проектування, коли не вирішені стратегічні питання, переходить до вирішення нагальних питань, або поняття ефективності підмінюють поняттям оптимальності. Другий прорахунок виникає також на стадії проектування, коли процес отримання кінцевої продукції розглядають через поняття «виробничий процес», хоча слід розглядати через інші категорії «сценарій»

[2], який в свою чергу формує «стратегію освоєння» родовища корисних копалин [3]. Оптимізація технології виробничого процесу має зовсім іншу цільову функцію, тобто виробничий цикл передбачає отримання кінцевої продукції визначеного об'єму в межах заданих технологічних, економічних, технічних обмежень, а стратегія освоєння передбачає, перш за все, яким чином узгодити у часі і просторі складові процесу отримання кінцевої продукції, що вже сприятиме підвищенню ефективності процесу.

Нарешті вирішення проблеми підвищення ефективності зводиться до підходів та інструментів прийняття рішень. Нами запропонована класифікація існуючих методів прийняття рішень в гірництві. В основу класифікації покладена цільова функція, тобто, що є кінцевим результатом методу. У відповідності до неї методи діляться на інформаційні та оптимізаційні. Оптимізаційні дозволяють мінімізувати (максимізувати) значення параметру, який взятий за критерій ефективності, а інформаційні дозволяють отримати інформацію про поведінку (стратегію), яка веде до підвищення ефективності.

В таблиці 1 наведена класифікація методів прийняття рішень в гірництві.

Таблиця 1. Класифікація методів прийняття рішень в гірництві

Клас моделей	Група методів	Назва	Дослідники
інформаційні	метод аналізу ієрархій	AHP	Kursunoglu N., Onder M. [4]
		PROMETHEE	Bogdanovic D., Nikolic D., Ilic I. [5]
		ELECTRE	Iphar M., Alpay S. [6]
		VIKOR	Hayati M. [7]
		Grey-AHP	Huang, W, Cai, S. [8]
		Fuzzy-AHP	Naghadehi, M. Z., Mikaeil, R.[9]
	WPM	Balusa B. C., Singam J. [10]	
	дослідження операцій	прийняття рішень в умовах невизначеності	Krzak M. [11], Грін'юв В.Г. [12]
		дерева прийняття рішень	Lee S., Park I. [13]
		графи	Hrinov V., Khorolskyi A. [14]
оптимізаційні	математичне програмування:	лінійне	Kulshreshtha M., Parikh J. K. [15]
		квадратичне	Li P. [16]
		цілочисельне	Bakhtavar E. [17]
		геометричне	Erdogan, G. [18]
		стохастичне	Dimitrakopoulos

Клас моделей	Група методів	Назва	Дослідники
			R., Ramazan S. [19] Nazimko V.V. [20]
		динамічне	Beaulieu M., Gamache M. [21], Гріньов В.Г. [22]
	детерміновані моделі	керування запасами	Мамайкін О. [23]
		кореляційні моделі	Fomichov V. [24], Петлеванний М.В. [25], Kononenko M. [26], Khomenko O. [27]
		мережеві моделі	Гріньов В.Г. [28], Brazil M. [29],
	ймовірнісні моделі	теорія ігор	Liu Q. [30],
		теорія надійності	Musingwini C. [31], Хорольський А.О. [32], Мамайкін О.Р. [33]
		імітаційне моделювання	Khomenko O. [34]

Із наведеної класифікації видно, що незалежно від методу прийняття рішення необхідно обрати інструмент, який дозволить утримати уявлення про стратегію освоєння родовища корисних копалин. І це ще один «підводний камінь», який може нівелювати усі попередні вдалі рішення. Від адекватності інструменту залежить ефективність процесу проектування. Під «адекватністю» інструменту слід розуміти його відповідність цільовій меті процесу проектування, при цьому необхідно забезпечити економію часу, ресурсів, а отримане рішення повинне знаходитись в області раціонального проектування [35]. Більш детально проблема вибору інструменту прийняття рішень описана в роботі [36].

Таким чином, створення наукових основ щодо проектування процесу освоєння родовищ корисних копалин на основі оцінки і вибору параметрів розробки є актуальною науковою задачею. Пошук інструментів, а також вибір критеріїв формують наукову новизну та практичне значення роботи.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вирішення наведеної проблеми сприятиме підвищенню ефективності процесу отримання кінцевої продукції із корисної копалини. Це досягається за рахунок узгодження в часі операцій з видобутку, транспортування, пере-

робки корисної копалини, мінімізації ризиків виробництва. Базою є надійні інструменти, які дозволяють автоматизувати процес проектування [37, 38]. Для цього необхідно вирішити декілька задач:

- по-перше, необхідно обґрунтувати критерій оптимальності при розробці родовищ корисних копалин;
- по-друге, на основі критерію оптимальності визначити параметри, які дозволяють підвищити ефективність процесу розробки родовищ;
- по-третє, запропонувати підходи та інструменти.

Характерною відмінністю запропонованої роботи, що формує наукове значення:

- по-перше, нами розглядається процес в цілому, а не окремо кожен етап, що в кінцевому випадку дозволяє отримати уявлення про ефективність процесу, для цього запропоновано визначення «стратегії» освоєння;
- по-друге, із попереднього пункту слідує, що весь процес може розглядатись лише через зміну стану запасів [39], тобто від етапу, коли відома інформація про кількість, якість копалини до етапу розробки, вилучення, збагачення, транспортування та отримання кінцевої продукції, таким чином, наприклад, вугільна шахта та процес видобутку вугілля розглядається не як операція з отримання продукції у вигляді вугілля, а як проміжна ланка в системі генерації електроенергії або металу; аналогічна ситуація і з видобутком корисних копалин, коли стадія вилучення руди розглядається через призм не тільки економічних але і екологічних чинників;
- по-третє, на стадії проектування ми визначаємо кількість (об'єм) виробництва, а також визначаємо область, для якої отримане рішення буде дієвим, це реалізується через розкриття визначення «область раціонального проектування» [40];
- по-четверте, лише після вирішення наведених вище стратегічних напрямків, можна перейти до параметрів експлуатації;
- по-п'яте, визначені параметри можна представити у вигляді єдиної структури, а не окремо кожен, таким чином відбувається оптимізація процесу отримання кінцевої продукції, тобто ефективність усього процесу залежить від сукупної ефективності заданої кількості параметрів на усіх попередніх етапах, яка в свою чергу, залежить від одного (двох, трьох) параметрів; для цього нами застосовано декомпозиційний підхід, коли для кожної стадії виробництва визначаються пріоритетні (керуючі) фактори;
- по-шосте, нами застосовано основний принцип динамічного програмування [41] (Р. Белмана), згідно нього: рішення, що приймається в кожному циклі, має бути найкращим відносно процесу в цілому;
- по-сьоме, впровадження даного підходу у виробництво можливе лише після створення програмного забезпечення, що дозволяє не тільки інтерпретувати отримані результати, але і значно підвищити розмірність.

Все це визначає методи дослідження.

3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У відповідності до сформованих вище завдань дослідження запропонуємо новий підхід щодо підвищення ефективності процесу розробки родовищ корисних копалин. На першому етапі слід зосередити увагу на критерії оптимальності. Для цього може бути прийнята категорія «якість». Це філософська категорія, що виражає сукупність істотних ознак, особливостей і властивостей, які відрізняють один предмет або явище від інших і надають йому визначеність. Якість предмета або явища, як правило, не зводиться до окремих його властивостей. Воно пов'язане з предметом як цілим, охоплює його повністю і невіддільне від нього. Тому поняття якості зв'язується з буттям предмета. Предмет не може, залишаючись самим собою, втратити свою якість [42]. Таким чином, ця категорія є універсальною незалежно від типу корисної копалини. Для вугілля категорією «якість» виступає зольність, а для руди – ступінь зубожіння. Також, в умовах екологічно забруднюючого виробництва для особливо цінних корисних копалин (наприклад, золото) до категорії «якість» можна віднести ступінь негативного впливу на довкілля, який визначено на основі експертної оцінки з боку екологів [43–46]. Із категорії «якість» слідує наступне важливе визначення, сукупність ознак визначає сам процес, це є і зміна стану запасів, тобто вугілля проходить етап від видобутої корисної копалини до електроенергії або металу. Також руда проходить шлях від відбитої гірничої маси до металу, при цьому кожен проміжний етап визначає ефективність процесу в цілому. Наприклад, при розгляді технології видобутку залізної руди [47] необхідно раціонально спроектувати процес відбивання руди, який включає первинну та вторинну відбійку, випуск руди, навантаження і лише після цього видачу на поверхню. Всі ці етапи істотно впливають на ступінь зубожіння руди. Таким чином можна узагальнити зв'язок між параметрами розробки родовищ (табл. 2).

Таблиця 2. Зв'язок параметрів та оцінок при розробці родовищ корисних копалин

Корисна копалина	Критерій оптимальності	Параметр в рамках заданої категорії	Оцінка параметру
вугілля	якість виступає через показник зольності	якість електричної енергії (для ланцюжку «вугілля-електроенергія»)	вихід відходів після генерації 1 кВт енергії
			собівартість вироблення 1 кВт енергії
			ступінь викиду ртуті в повітря (г/м ³) при спалюванні вугілля

Корисна копалина	Критерій оптимальності	Параметр в рамках заданої категорії	Оцінка параметру
		якість металу (відсоток сірки, фосфору) для ланцюжку «вугілля-кокс-метал»	вартість виготовлення 1 т металу за технологією
			вихід відходів після виплавки 1 т металу
			ступінь викидів шкідливих домішок (г/м ³) при виплавці металу
руда	якість виступає через показник ступеню зубожіння	технологія видобутку (при буропідривному способі, наприклад – залізна руда)	розхід вибухових речовин на відбірку
			фігура випуску та технологія вантажно-доставочних операцій
			собівартість видобутку тони руди
			кількість викидів в атмосферу при застосуванні вибухових речовин
		технологія видобутку (при комбайновому способі, наприклад – марганцева або калійна руда)	об'єм виробництва
			вибір обладнання
			спосіб доставки корисної копалини
золото	якість виступає через категорію ступінь впливу на довкілля	технологія отримання	собівартість видобутку тони
			об'єм виробництва
			організація основних та допоміжних технологій отримання граму золота
			ступінь техногенного впливу на довкілля
			собівартість

Поняття «оцінка» параметра слід розглядати в більш широкому сенсі, тобто це не стільки кількісна характеристика, а більше системний чинник (світоглядний), тобто проектувальник визначає сам, який параметр є визна-

чальним та впливає на кінцеву ефективність процесу. Незалежно від технології та типу корисної копалини враховують увесь процес в цілому, а також ступінь техногенного впливу на довкілля.

Для вирішення поставленої задачі нами використано методи динамічного програмування. Зокрема процес прийняття рішень може бути розглянутий за допомогою функціонального рівняння

$$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = f(x(t), u(t), t); x(\tau) = y; \tau \leq t \leq t_1, \quad (1)$$

де τ – довільний параметр; y – довільний вектор.

Інваріантний спосіб з прямим зануренням дозволяє розглянути виробничий процес у часі t при обмеженому обсязі ресурсів. При цьому розглядаються всі можливі рішення і кожне наступне рішення (альтернатива) не гірше попереднього.

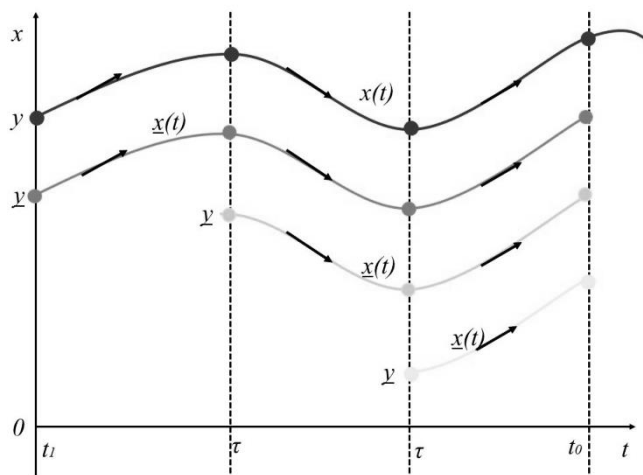


Рисунок 1. Схема процедури пошуку оптимального рішення

Для прийняття рішення представимо процес пошуку кінцевого рішення у вигляді сукупності процедур пошуку оптимальних рішень на кожному з етапів (рис. 2), для цього представимо рівняння (1) у вигляді

$$x(t+1) = f(x(t), u(t), t); x(\tau) = y; \tau \leq t \leq t_1. \quad (2)$$

Процес пошуку рішення полягає в дослідженні можливих векторів рішень x на відповідність області оптимальних рішень F^0 , якщо значення вектора x в момент часу t дорівнює $F \leq F^0$ потрібно запам'ятати результат і відкласти його (запам'ятати) на фазовій сітці x , інакше перервати пошук. Після цього на основі відгуків x, x_1, x_2 обчислити значення оптимізаційного параметра.

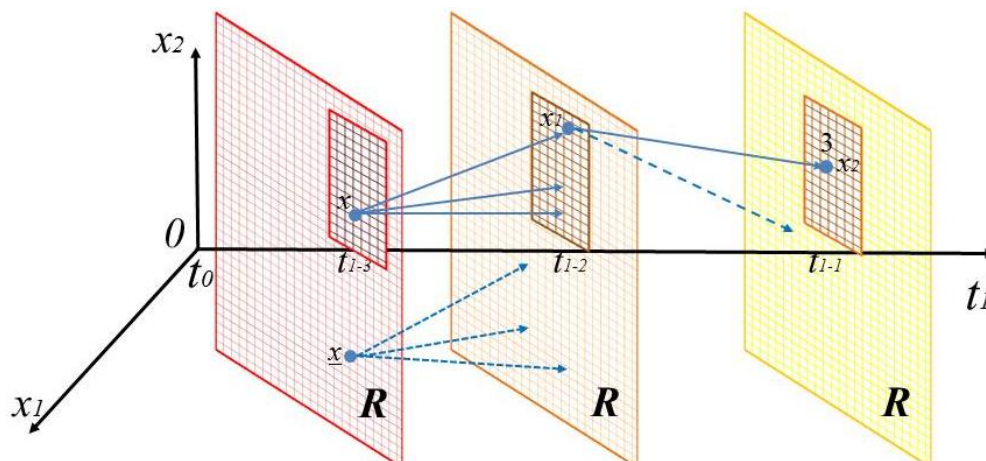


Рисунок 2. Схема обчислювальної процедури

Застосування графів та мережевих моделей дозволяє в наочному та компактному вигляді представити інформацію про можливі технологічні схеми у виробництві, а також систематизувати данні. Ідея полягає у наступному – усі можливі варіанти освоєння родовищ можна представити у вигляді впорядкованої структури – графу, де кожній вершині відповідає окреме рішення (альтернатива), яке може бути прийняте, а відстань між вершинами (ребро) має свою довжину, яка відповідає значенню параметра, який слід оптимізувати (собівартість, трудомісткість, часові витрати та ін.). При цьому модель структурована за етапами (рівнями), тобто вершинами можуть відповідати альтернативні варіанти розвідки родовища, можливі варіанти розробки родовищ, можливі технології розробки і т.д.

Таким чином, для пошуку оптимальної стратегії освоєння родовища усі можливі варіанти слід представити у вигляді впорядкованої структури – графу. Після цього слід задати значення оптимізаційного параметру (в нашому випадку витрати на проведення кожного етапу розробки родовища) у вигляді відстані між вершинами графу. Сукупність вершин, які відповідають етапам та відстаней між вершинами, які відповідають значенню оптимізаційного параметру формують мережеву модель. У залежності від порядку розгляду моделі можна аналізувати, як екологічні так і економічні варіанти освоєння родовищ.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 3 зображений альтернативний граф з 37 вузлами визначення стратегії освоєння золоторудного родовища. Кожна дуга (i, j) має свою довжину t_{ij} . У спрямованому ациклічному графові можна помітити вузли цілими числами від 1 до N таким чином, що для кожної дуги (i, j) справедлива нерівність $i < j$. Найкоротший шлях від вузла 1 до вузла j повинен містити деяку дугу в якості кінцевої і тому

$$f_i = \min_{i(i,j)}(f_i + t_{ij}) \quad (3)$$

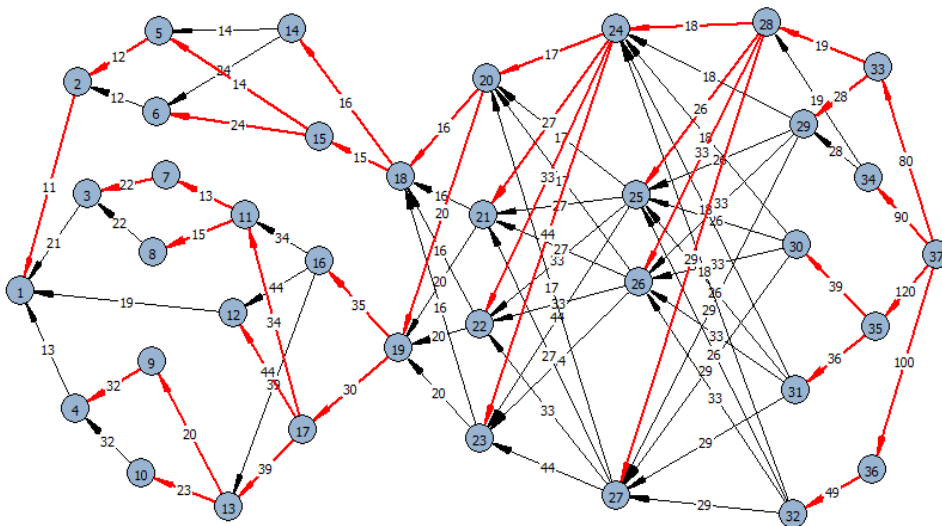


Рисунок 3. Альтернативний граф з 37 вузлами визначення стратегії освоєння золоторудного родовища на фрагменті програми динамічного програмування [48]

Слід зазначити, що вершини з'єднані між собою у відповідності до реальних зв'язків. Після цього аналізуємо мережеву модель на кожному етапі. При цьому існує дві умови, якщо зв'язок між етапами освоєння родовища існує, то вершини з'єднують, а якщо ні – не з'єднують. Наприклад існує маршрут, що проходить через точки 1-3-8-11-16, а також альтернативний йому, що проходить через точки 1-12-16, тобто на першому етапі освоєння родовища існує можливість неповного вивчення родовища. Тобто одразу відбувається розробка родовища, однак в подальшому внаслідок відсутності адекватної стратегії розробка родовища припиняється. Для пошуку оптимальної стратегії необхідно, щоб були проаналізовані усі етапи, тобто необхідно знайти найкоротший маршрут від вершини 1 до вершини 37.

Для знаходження найкоротшого шляху від вузла 1 до вузла 37 використовується метод динамічного програмування. Безліч рішень оптимізаційних завдань описується функціональним рівнянням, аналогічним рівнянню (3). Функціональне рівняння є системою рівнянь, які зв'язують декілька оптимізаційних завдань. У такій системі кожне рівняння відповідає одному вузлу. Рішення безлічі оптимізаційних завдань можна знайти за допомогою, так званого, алгоритму зворотного прогону, який рівнозначний впорядкованій процедурі рішення послідовності функціональних рівнянь.

Для знаходження найкоротшого маршруту слід застосувати алгоритм Белмана-Форда [49]. Логіка пояснюється тим, що процес пошуку оптимального рішення можна проводити, як у прямому порядку від вершини 1 до 37, так, зазвичай, і у зворотному від вершини 37 до 1. Наприклад, якщо стоїть задача спроектувати найбільш економічно ефективне виробництво, то слід

застосувати зворотній порядок, коли власник родовища бажає зменшити собівартість. А якщо стоїть задача мінімізації негативного впливу на довкілля, то краще задати прямий порядок (від 1 до 37), коли необхідно урахувати додаткові етапи у вигляді спорудження додаткових збагачувальних фабрик та ін.

Алгоритм зворотного прогону приведений в роботі [50]. Він придатний для обчислень в ациклічних мережах. Більше того, розрахунки можна починати у будь-якому кінці мережі і рухатися у зворотному напрямі до іншого її кінця. При цьому передбачається проведення однієї обчислювальної операції для кожної дуги. Таким чином, навряд чи існує більш ефективний алгоритм, ніж зворотний прогін. На рис. 1 показано результати розрахунків мережевої моделі освоєння родовища у вигляді найкоротшого маршруту (червона суцільна лінія): 1-2-5-15-18-20-24-28-33-37.

В Інституті фізики гірничих процесів НАН України для розвитку рішень гірничих технологічних завдань методами дискретної математики також розроблено програмне забезпечення із сучасним інтерфейсом щодо втілення алгоритмів динамічного програмування на мережевих моделях. «Програма динамічного програмування альтернативного графу на мінімум» «DinMin.v2_2019» призначена для вибору сценарію освоєння родовищ корисних копалин з мінімальними витратами, мінімально можливим збитком і максимальним прибутком з урахуванням взаємодії екологічних норм будівництва, видобутку, транспорту і переробки, як ланок однієї системи, яка працює на кінцевий результат у вигляді ринкового товару.

Програма дозволяє завантажувати та зберігати дані про стратегії освоєння родовищ. Тобто для різних стратегій користувач може створити «банк» проектних рішень, та завантаживши у програму визначити найбільш ефективне рішення.

Під час вибору варіанта освоєння родовища необхідно проводити як економічну, так і екологічну оцінку. Водночас не завжди оптимальна альтернатива з погляду собівартості готової продукції або продуктивності може бути ліпшою з погляду екології. Перевагу варто віддавати безпечнішій технології, тому що завжди можливі сценарії, за яких попит на корисні копалини падатиме. Подання можливих варіантів відпрацювання родовищ у вигляді мережевої моделі дає змогу в наочному й компактному вигляді представити інформацію про характеристики родовища, технологічний цикл отримання кінцевої продукції, витрати на отримання кінцевої продукції, а запропоновані засоби підтримки ухвалення рішень у вигляді програмного забезпечення дають змогу підвищити розмірність задач, зважаючи на детермінований характер формування рівня продуктивності.

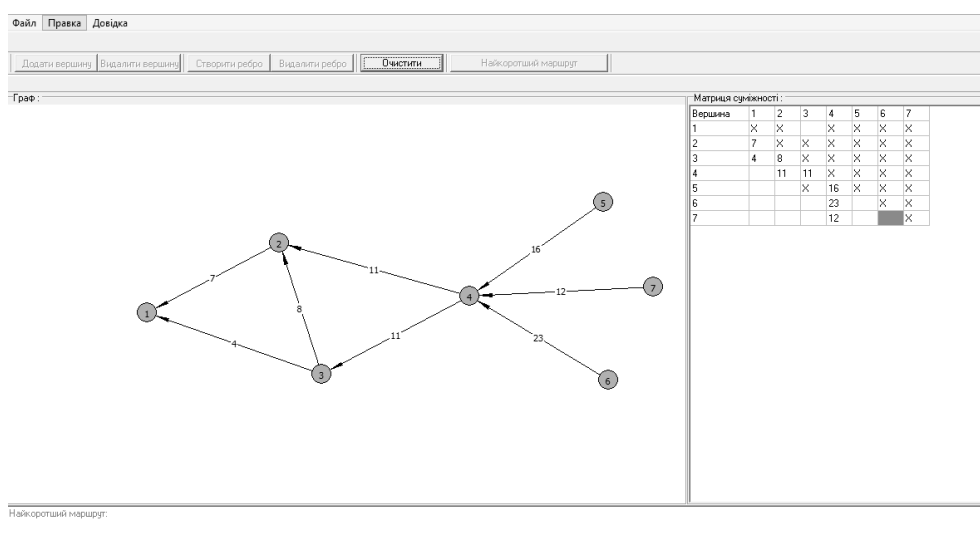


Рисунок 4. Фрагмент робочого вікна програми «DinMin.v2_2019»

Етапи освоєння запасів родовища характеризують зміни стану запасів, які охоплюють моделювання всього сценарію освоєння родовища від початку до отримання кінцевого продукту для аналізу пріоритетів з мінімальних витрат на одиницю кінцевої продукції та можливих варіантів ухвалення рішень на етапах освоєння, зокрема з огляду на екологічні переваги. Альтернативний варіант освоєння родовища відрізняється переробленням сировини на новій збагачувальній фабриці з повним виконанням екологічних нормативів, витрати на будівництво і експлуатацію якої складають фінансову різницю між економічним та екологічним сценаріями [43].

5. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Таким чином, запропоновані у роботі підходи дозволяють раціоналізувати параметри розробки родовищ корисних копалин. Механізм розкриття резерву виробництва полягає:

- в узгодженні в часі процесів отримання кінцевої продукції із корисної копалини;
- визначенні раціонального об'єму виробництва;
- мінімізації ризиків шляхом зменшення невизначеності (на основі критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності);
- оцінці ступеню техногенного впливу екологічно шкідливого виробництва на стан навколишнього середовища;
- впорядкуванні структури технологічних зв'язків у циклі отримання продукції;
- оптимізації параметрів експлуатації.

Незалежно від типу корисної копалини та характеру виробництва підхід є універсальним: спочатку необхідно визначити критерій оптимальності (якість) і на основі цього обрати параметри в рамках заданої категорії. Лише після цього можна оцінювати параметри. Оцінка та оптимізація параметрів

ведеться за допомогою програмного забезпечення розробленого в Інституті фізики гірничих процесів НАН України.

Таблиця 3. Програмні засоби для оцінки та оптимізації параметрів

Корисна копалина	Оцінка параметру	Програма
вугілля	об'єм виробництва	Krtery_v2.2019
	вибір обладнання	CountsCEM.v1.p2.6_c25
	собівартість видобутку тони вугілля	Din_Min.v2_2019
	вихід відходів після генерації 1 кВт енергії	Din_Min.v2_2019
	собівартість вироблення 1 кВт енергії	GraphON.v1.2017 CountsCEM.v1.p2.6_c25
	ступінь викиду ртуті в повітря ($\text{г}/\text{м}^3$) при спалюванні вугілля	Din_Min.v2_2019
	вартість виготовлення 1 т металу за технологією	Din_Min.v2_2019
	собівартість виплавки 1 т металу	Din_Min.v2_2019
	вихід відходів після виплавки 1 т металу	Din_Min.v2_2019
	ступінь викидів шкідливих домішок ($\text{г}/\text{м}^3$) при виплавці металу	Din_Min.v2_2019
руда	розхід вибухових речовин на відбійку	GraphON.v1.2017
	фігура випуску та технологія вантажно-доставочних операцій	Din_Min.v2_2019
	собівартість видобутку тони руди	Din_Min.v2_2019
	кількість викидів в атмосферу при застосуванні вибухових речовин	Din_Min.v2_2019
	об'єм виробництва	Krtery_v2.2019
	вибір обладнання	GraphON.v1.2017
	спосіб доставки корисної копалини	GraphON.v1.2017
	собівартість видобутку тони	Din_Min.v2_2019
золото	об'єм виробництва	Krtery_v2.2019
	організація основних та допоміжних технологій отримання граму золота	GraphON.v1.2017
	ступінь техногенного впливу на довкілля	Din_Min.v2_2019
	собівартість	GraphON.v1.2017

Програма GraphON.v1.2017 розроблена в Інституті фізики гірничих процесів НАН України в 2017 році, на програму отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Програма призначена для пошуку найкоротшого маршруту між усіма вершинами мережевої моделі. Для реалізації застосовано алгоритм Дейкстри. Програма дозволяє представити технологічний цикл із виготовлення продукції у вигляді мережевої моделі та знайти найкоротший маршрут, який відповідає оптимальному рішення. Область застосування: родовища корисних копалин.

Програма CountsSEM.v1.p2.6_c25 розроблена в Інституті фізики гірничих процесів НАН України в 2017 році, на програму отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Програма призначена для вибору структури видобувного комплексу. Область застосування – вугільні родовища, які розробляються підземним механізованим способом.

Програма Kritery_v2.2019 розроблена в Інституті фізики гірничих процесів НАН України в 2019 році, завершується процедура отримання свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір. Програма призначена для прийняття рішень в умовах невизначеності, що дозволяє визначити об'єми виробництва з мінімізацією ризиків від невиконання плану. Для реалізації застосовано критерії Вальда, Лапласа, Гурвіца, узагальнений критерій Гурвіца, Севіджа, максимум. Програма дозволяє проаналізувати можливі альтернативи та відповідні їм сценарії виробництва. Область застосування: родовища корисних копалин.

Програма Din_Min.v2_2019 розроблена в Інституті фізики гірничих процесів НАН України в 2019 році, завершується процедура отримання свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір. Програма призначена для програмування альтернативного графу на мінімум. Для реалізації застосовано критерії алгоритм Беллмана-Форда. Програма дозволяє моделювання зміни стану запасів від початку і до отримання кінцевої продукції. Область застосування: родовища корисних копалин.

Створене програмне забезпечення дозволяє успішно вирішувати питання пов'язані із експлуатацією родовищ корисних копалин.

6. ВИСНОВКИ

В розглянутій роботі запропоновано новий інноваційний підхід щодо освоєння родовищ корисних копалин. Характерною особливістю якого є те, що сама корисна копалина розглядається не «як кінцевий продукт», який слід видобути, а лише, як проміжна ланка в структурі генерації енергії, виплавки металу та ін. Це дозволяє розглядати процес експлуатації через зміну стану запасів, що в свою чергу формує стратегію освоєння. Стратегія освоєння передбачає побудову сценаріїв (економічних, екологічних) в рамках, яких вирішується «вузька» задача, пов'язана із організацією робіт, оптимізацією собівартості та ін. Для вирішення цих задач розроблено спеціалізовані комп'ютерні програми. Це дозволило зробити наступні висновки:

- для ефективного освоєння родовища корисних копалин на першому етапі слід обрати критерій оптимальності; при побудові економічного сце-

нарію це – «якість», при побудові екологічного сценарію – «ступінь техногенного впливу на довкілля»;

- застосування універсальної категорії «якість» дозволяє відстежувати зміну стану запасів; в більш широкому плані механізм формування ефективності освоєння родовища передбачає ієрархічну структуру, в основі якої категорія «якість», яка в свою чергу формує стратегії; стратегії формують сценарії, а сценарії містять параметри; оптимізація кожного параметру передбачає оцінку пріоритетних керуючих факторів;

- алгоритм оптимального проектування освоєння родовища корисних копалин передбачає визначення об'єму виробництва, мінімізацію ризиків, визначення параметрів, які відповідають критерію оптимальності та їх подальша оптимізація;

- узгодження у часі виробничих операцій досягається побудовою впорядкованих структур – мережевих моделей, де найкоротшому маршруту відповідає оптимальна стратегія; для пошуку найкоротшого маршруту можна застосувати розроблене Інститутом фізики гірничих процесів програмне забезпечення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гринев, В.Г. (2008). Оценка перспектив повышения эффективности получения конечной продукции из угля. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (11), 126–135.
2. Гріньов, В.Г., & Хорольський, А.О. (2018). Возможности эффективного освоения рудных родовищ из запасами рідкісних і благородних металів. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (20), 113–122.
3. Гріньов, В.Г., Хорольський, А.О., & Каліущенко, О.П. (2019). Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (2), 46–50.
4. Kursunoglu, N., & Onder, M. (2015). Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (48), 101–109.
5. Bogdanovic, D., Nikolic, D., & Ilic, I. (2012). Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1), 219–233.
6. Iphar, M., & Alpay, S. (2019). A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 33(7), 480–504.
7. Hayati, M., Rajabzadeh, R., & Darabi, M. (2015). Determination of Optimal Block Size in Angouran Mine Using VIKOR Method. *J. Mater. Environ. Sci.* 6(11), 3236–3244.
8. Huang, W. et al. (2015). Stability assessment of underground mined-out areas in a gold mine based on complex system theory. *Geotechnical and Geological Engineering*. 33(5), 1295–1305.
9. Naghadehi, M.Z., Mikaeil, R., & Ataei, M. (2009). The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8218–8226.

10. Balusa, B.C., & Singam, J. (2018). Underground mining method selection using WPM and PROMETHEE. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*. 99(1), 165–171.
11. Krzak, M. (2013). The Evaluation Of An Ore Deposit Development Prospect Through Application Of The " Games Against Nature " Approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*. 30(6), 1350029.
12. Хорольський, А.О., & Грінюв, В.Г., (2018). Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (20), 132–146.
13. Lee, S., & Park, I. (2013). Application of decision tree model for the ground subsidence hazard mapping near abandoned underground coal mines. *Journal of environmental management*. (127), 166–176.
14. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. In *E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering*. (Vol. 60. p. 00017). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>
15. Kulshreshtha, M., & Parikh J.K. (2002). Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*. 24(5), 439–453.
16. Li, P. et al. (2011). Time series prediction of mining subsidence based on a SVM. *Mining Science and Technology (China)*. 21(4), 557–562.
17. Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Mirhassani, A. (2012). Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112(12), 1059–1064.
18. Erdogan, G. et al. (2017). Implementation and comparison of four stope boundary optimization algorithms in an existing underground mine. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 31(6), 389–403.
19. Dimitrakopoulos, R., & Ramazan, S. (2008). Stochastic integer programming for optimising long term production schedules of open pit mines: methods, application and value of stochastic solutions. *Mining Technology*. 117(4), 155–160.
20. Nazimko, V., Iliashov, M., & Youshkov, E. (2014). Computer-aided multi-object distribution system for prompt project management. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 53.
21. Beaulieu, M., & Gamache, M. (2006). An enumeration algorithm for solving the fleet management problem in underground mines. *Computers & operations research*. 33(6), 1606–1624.
22. Гринев, В.Г., Изакоп, В.Ю., & Зубков, В.П. (1999). *Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений*. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 215 с.
23. Mamaikin, O., Sotskov, V., Demchenko, Y., & Prykhorchuk, O. (2018). Productive flows control in coal mines under the condition of diversification of production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00008). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000008>
24. Fomychov, V., Mamaikin, O., Demchenko, Y., Prykhorchuk, O., & Jarosz, J. (2018). Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working based on computational and field studies. *Mining of Mineral Deposits*, 12(4), 46–55. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.046>
25. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their de-

veloping in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

26. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere. *Mining Of Mineral Deposits*, 231–235. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-43>

27. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecologic-and-technical aspects of iron-ore underground mining. *Mining of mineral deposits*, 11(2), 59–67 <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>

28. Гринев В.Г., & Хорольський А.А. (2017). Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации. *Вестни Донецького горного інститута*, 1(40), 139–144. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-1-139-144>

29. Brazil, M. et al. (2005). Cost optimisation for underground mining networks. *Optimization and engineering*. 6(2), 241–256.

30. Liu, Q., Li, X., & Meng, X. (2019). Effectiveness research on the multi-player evolutionary game of coal-mine safety regulation in China based on system dynamics. *Safety science*. (111), 224–233.

31. Musingwini, C., Minnitt, R.C.A., & Woodhall, M. (2007). Technical operating flexibility in the analysis of mine layouts and schedules. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 107(2), 129–136.

32. Хорольський А.О., & Грінюв В.Г. (2017). Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки»*, 80(2), 199–207. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233)

33. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. In *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining* (pp. 491–496).

34. Vladyko, O., Kononenko, M., & Khomenko, O. (2012). Imitating modeling stability of mine workings. *Geomechanical processes during underground mining*, 147–150.

35. Гринев, В.Г., Петров, А.Н., & Зубков, В.П. (1994). Определение области проектирования эффективной разработки рудных месторождений Якутии. *Горное дело в Арктике*, С.-Петербург.

36. Хорольський, А.А., & Гринев, В.Г. (2018). Проектирование технологических схем очистного оборудования с использованием сетевых моделей: опыт и перспективы. *Горная механика и машиностроение*, (4), 12–21.

37. Грінюв, В.Г., Хорольський, А.О., & Мамайкін, О.Р. (2019). Декомпозиційний підхід при побудові систем генерації енергії у вуглепромислових регіонах. *Вісті Донецького гірничого інституту*, (44), 116–126. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-116-126>

38. Грінюв, В.Г., Хорольський, А.О., & Мамайкін, О.Р. (2019). Оцінка стану та оптимізація параметрів технологічних схем вугільних шахт. *Вісник Криворізького національного університету*, (48), 31–37. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2019-1-48-31-37>

39. Хорольський, А.О., Грінюв, В.Г., & Мамайкін, О.Р. (2019). Оптимізація стійкості функціонування підсистем очистного вибою. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, (23), 85–103. <https://doi.org/10.30929/2074-1537.2019.1.85-103>

40. Хорольський, А.О., Грінюв, В.Г., & Мамайкін, О.Р. (2019). Інноваційні перспективи підземної експлуатації вугільних родовищ. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, (83), 289–298. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-289-298](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-289-298)

41. Беллман, Р., & Дрейфус, С. (1965). *Прикладные задачи динамического программирования*. М.: Наука.
42. Cargile, J. (1995). qualities. in Honderich, T. (Ed.) (2005). *The Oxford Companion to Philosophy* (2nd ed.). Oxford
43. Mironova, I., & Pavlichenko, A. (2013). Analysis of air pollution levels during underground ore mining. *Mining of Mineral Deposits*, 7(3), 261–266. <http://dx.doi.org/10.15407/mining07.03.261>
44. Mironova, I., & Borysovs'ka, O. (2014). Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 333–339. <http://dx.doi.org/10.1201/b17547-57>.
45. Gorova, A., Kolesnyk, V., & Myronova, I. (2014). Increasing of environmental safety level during underground mining of iron ores. *Mining of Mineral Deposits*, 8(4), 473–479. <http://dx.doi.org/10.15407/mining08.04.473>
46. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Sudakov, A. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29–38. <http://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>
47. Khomenko, O., Kononenko, M., & Savchenko, M. (2018). *Technology of underground mining of ore deposits*. <https://doi.org/10.33271/dut.001>
48. Грін'ов, В.Г., & Хорольський, А.О. (2019). Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. *Физико-технические проблемы горного производства*, (21), 128–145. <https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.008>
49. Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press.
50. Sckwartz, W. (1968). Dynamishes programmeriew erlautert am Belsplet der Optimierung Von Kupfergewinnungsverfahren. *Erzmetall*, (10), 455–460.

REFERENCES

1. Grinev, V.G. (2008). Otsenka perspektiv povyisheniya effektivnosti polucheniya konechnoy produktsii iz uglya. *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, (11), 126–135.
2. Grinov, V.G., & Horolskiy, A.O. (2018). MozhlivostI effektivnogo osvoennya rudnih rodovisch iz zapasami ridskikh i blagorodnih metaliv. *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, (20), 113–122.
3. Grin'ov, V.G., Horol's'kyj, A.O., & Kaliushhenko, O.P. (2019). Rozroblennja ekologichnyh scenariiv efektyvnogo osvojennja cinnyh rodovyshh korysnyh kopalyn. *Mineral'ni resursy Ukraïny*, (2), 46–50.
4. Kursunoglu, N., & Onder, M. (2015). Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (48), 101–109.
5. Bogdanovic, D., Nikolic, D., & Ilic, I. (2012). Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1), 219–233.
6. Iphar, M., & Alpay, S. (2019). A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 33(7), 480–504.
7. Hayati, M., Rajabzadeh, R., & Darabi, M. (2015). Determination of Optimal Block Size in Angouran Mine Using VIKOR Method. *J. Mater. Environ. Sci.* 6(11), 3236–3244.

8. Huang, W. et al. (2015). Stability assessment of underground mined-out areas in a gold mine based on complex system theory. *Geotechnical and Geological Engineering*. 33(5), 1295–1305.
9. Naghadehi, M.Z., Mikaeil, R., & Ataei, M. (2009). The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8218–8226.
10. Balusa, B.C., & Singam, J. (2018). Underground mining method selection using WPM and PROMETHEE. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series D*. 99(1), 165–171.
11. Krzak, M. (2013). The Evaluation Of An Ore Deposit Development Prospect Through Application Of The " Games Against Nature " Approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*. 30(6), 1350029.
12. Khorolskyi, A.O., & Hrinov, V.H., (2018). Proektuvannia tekhnolohichnykh skhem hirnychoho vyrobnytstva v umovakh nevyznachenosti. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (20), 132–146.
13. Lee, S., & Park, I. (2013). Application of decision tree model for the ground subsidence hazard mapping near abandoned underground coal mines. *Journal of environmental management*. (127), 166–176.
14. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. In *E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering*. (Vol. 60. p. 00017). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>
15. Kulshreshtha, M., & Parikh J.K. (2002). Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*. 24(5), 439–453.
16. Li, P. et al. (2011). Time series prediction of mining subsidence based on a SVM. *Mining Science and Technology (China)*. 21(4), 557–562.
17. Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Mirhassani, A. (2012). Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112(12), 1059–1064.
18. Erdogan, G. et al. (2017). Implementation and comparison of four stope boundary optimization algorithms in an existing underground mine. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 31(6), 389–403.
19. Dimitrakopoulos, R., & Ramazan, S. (2008). Stochastic integer programming for optimising long term production schedules of open pit mines: methods, application and value of stochastic solutions. *Mining Technology*. 117(4), 155–160.
20. Nazimko, V., Illiashov, M., & Youshkov, E. (2014). Computer-aided multi-object distribution system for prompt project management. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 53.
21. Beaulieu, M., & Gamache, M. (2006). An enumeration algorithm for solving the fleet management problem in underground mines. *Computers & operations research*. 33(6), 1606–1624.
22. Grynev, V.G., Yzakson, V.Ju., & Zubkov, V.P. (1999). *Reshenye gornikh zadach na EVM pry osvoenyy rudnuh mestorozhdenyj*. Novosybyrsk: Nauka, Sybyrskaja yzdatel'skaja fyрма RAN, 215 p.
23. Mamaikin, O., Sotskov, V., Demchenko, Y., & Prykhorchuk, O. (2018). Productive flows control in coal mines under the condition of diversification of production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00008). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000008>

24. Fomychov, V., Mamaikin, O., Demchenko, Y., Prykhorchuk, O., & Jarosz, J. (2018). Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working based on computational and field studies. *Mining of Mineral Deposits*, 12(4), 46–55. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.046>
25. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskiy, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
26. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2013). Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere. *Mining Of Mineral Deposits*, 231–235. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-43>
27. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecologic-and-technical aspects of iron-ore underground mining. *Mining of mineral deposits*, 11(2), 59–67. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
28. Hrynev V.H., & Khorolskyi A.A. (2017). Obosnovanye parametrov vybora komplektatsii ochysnoho oborudovanyia s uchetom oblasti ratsyonalnoi ekspluatatsyy. *Vesty Donetskoho hornoho instytutu*, 1(40), 139–144. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2017-1-139-144>
29. Brazil, M. et al. (2005). Cost optimisation for underground mining networks. *Optimization and engineering*. 6(2), 241–256.
30. Liu, Q., Li, X., & Meng, X. (2019). Effectiveness research on the multi-player evolutionary game of coal-mine safety regulation in China based on system dynamics. *Safety science*. (111), 224–233.
31. Musingwini, C., Minnitt, R.C.A., & Woodhall, M. (2007). Technical operating flexibility in the analysis of mine layouts and schedules. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 107(2), 129–136.
32. Khorolskyi A.O., & Hrinov V.H. (2017). Systemni pryntsyypy ta otsinochnyi kryterii nadiinosti pry optymizatsii tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh rodovyshch. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*, 80(2), 199–207. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233)
33. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. In *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining* (pp. 491–496).
34. Vladyko, O., Kononenko, M., & Khomenko, O. (2012). Imitating modeling stability of mine workings. *Geomechanical processes during underground mining*, 147–150.
35. Grynev, V.G., Petrov, A.N., & Zubkov, V.P. (1994). Opredelenye oblasti proektirovaniya effektivnoy razrabotky rudnuh mestorozhdenyj Yakutyj. *Gornoe delo v Arktike, S.-Peterburg*.
36. Horolskiy, A.A., & Grinev, V.G. (2018). Proektirovanie tehnologicheskikh shem ochistnogo oborudovaniya s ispolzovaniem setevyih modeley: opyt i perspektivy. *Gornaya mehanika i mashinostroenie*, (4), 12–21.
37. Hrinov, V.H., Khorolskyi, A.O., & Mamaikin, O.R. (2019). Dekompozytsiinyi pidkhid pry pobudovi system heneratsii enerhii u vuhlepromyslovykh rehionakh. *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, (44), 116–126. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-116-126>
38. Hrinov, V.H., Khorolskyi, A.O., & Mamaikin, O.R. (2019). Otsinka stanu ta optymizatsiia parametriv tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh shakht. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, (48), 31–37. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2019-1-48-31-37>
39. Khorolskyi, A.O., Hrinov, V.H., Mamaikin, O.R. (2019). Optymizatsiia stiikosti funkcionuvannia pidsystem ochysnoho vyboiu. *Suchasni resursoenerhozberihaiuchi*

teknologii hirnychoho vyrobnytstva, (23), 85-103. <https://doi.org/10.30929/2074-1537.2019.1.85-103>

40. Khorolskyi A.O., & Hrinov V.H. (2017). Systemni pryntsypy ta otsinochni kryterii nadiinosti pry optymizatsii tekhnolohichnykh skhem vuhilnykh rodovyshch. *Visnyk Zhytomirskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 80(2), 199–207. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233)

41. Bellman, R., & Drejfus, S. (1965). *Prykladnie zadachy dynamycheskogo programyrovannya*. M.: Nauka.

42. Cargile, J. (1995). qualities. in Honderich, T. (Ed.) (2005). *The Oxford Companion to Philosophy* (2nd ed.). Oxford

43. Mironova, I., & Pavlichenko, A. (2013). Analysis of air pollution levels during underground ore mining. *Mining of Mineral Deposits*, 7(3), 261–266. <http://dx.doi.org/10.15407/mining07.03.261>

44. Mironova, I., & Borysovs'ka, O. (2014). Defining the parameters of the atmospheric air for iron ore mines. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 333–339. <http://dx.doi.org/10.1201/b17547-57>

45. Gorova, A., Kolesnyk, V., & Myronova, I. (2014). Increasing of environmental safety level during underground mining of iron ores. *Mining of Mineral Deposits*, 8(4), 473–479. <http://dx.doi.org/10.15407/mining08.04.473>

46. Khomenko, O., Kononenko, M., Myronova, I., & Sudakov, A. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29–38. <http://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>

47. Khomenko, O., Kononenko, M., & Savchenko, M. (2018). *Technology of underground mining of ore deposits*. <https://doi.org/10.33271/dut.001>

48. Hrinov, V.H., & Khorolskyi, A.O. (2019). Optymalne proektuvannya parametriv hirnychozbahachuvalnykh pidpriemstv dlia ratsionalnoho osvoiennia tsinnykh rodovyshch Ukrainy. *Fyzyko-tekhnicheskiye problemy hornoho proyzvodstva*, (21), 128–145. <https://doi.org/10.37101/ftppg21.01.008>

49. Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press.

50. Skwartzs, W. (1968). Dunamishes programmeriew erlautert am Belsplet der Optimierung Von Kupfergewinnungsverfahren. *Erzmetall*, (10), 455–460.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробити новий підхід щодо ефективного освоєння родовищ корисних копалин шляхом створення технології оптимального проектування.

Методика. Для моделювання процесу освоєння родовищ корисних копалин запропоновано модель динамічного програмування, яка дозволяє розробити стратегії оптимального процесу проектування, освоєння, експлуатації. Для прийняття рішень на стадії оцінки параметрів застосовано декомпозиційний підхід. Для прийняття рішень запропоновано алгоритми та методи динамічного програмування.

Результати. Наведено новий підхід щодо оцінки та вибору параметрів, характерною особливістю якого є те, що сама корисна копалина розглядається не «як кінцевий продукт», який слід видобути, а лише, як проміжна ланка в структурі генерації енергії, виплавки металу та ін. Це дозволяє розглядати процес експлуатації через зміну стану запасів, що в свою чергу формує стратегію освоєння. Стратегія освоєння передбачає побудову сценаріїв (еконо-

мічних, екологічних) в рамках, яких вирішується «вузька» задача, пов'язана із організацією робіт, оптимізацією собівартості та ін.

Наукова новизна. Вперше описано механізм формування ефективності освоєння родовища, який передбачає ієрархічну структуру, в основі якої категорія «якість», яка в свою чергу формує стратегії; стратегії формують сценарії, а сценарії містять параметри; оптимізація кожного параметру передбачає оцінку пріоритетних керуючих факторів. Вперше запропоновано алгоритм оптимального проектування освоєння родовища корисних копалин, який передбачає визначення об'єму виробництва, мінімізацію ризиків, визначення параметрів, які відповідають критерію оптимальності та їх подальшу оптимізацію.

Практична значимість. Вперше запропоновано методики і результати досліджень по оптимальному проектуванню параметрів експлуатації родовищ цінних корисних копалини України, які є основою методології рішення складних завдань оптимізації параметрів гірничо-збагачувального підприємства та відповідають сучасному рівню інформаційних технологій.

Ключові слова: вугілля, руда, золото, освоєння родовищ, проектування, моделювання, стан запасів, динамічне програмування, раціональний обсяг, параметри виробництва, екологія, оптимізація, комп'ютерні програми, інновація, ефективна експлуатація

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Разработать новый подход к эффективному освоению месторождений полезных ископаемых путем создания технологии оптимального проектирования.

Методика. Для моделирования процесса освоения месторождений полезных ископаемых предложена модель динамического программирования, которая позволяет разработать стратегии оптимального процесса проектирования, освоения, эксплуатации. Для принятия решений на стадии оценки параметров применено декомпозиционный подход. Для принятия решений предложены алгоритмы и методы динамического программирования.

Результаты. Приведен новый подход к оценке и выбору параметров, характерной особенностью которого является то, что само полезное ископаемое рассматривается не «как конечный продукт», который следует извлечь, а только, как промежуточное звено в структуре генерации энергии, выплавки металла и др. Это позволяет рассматривать процесс эксплуатации через изменение ее состояния запасов, что в свою очередь формирует стратегию освоения. Стратегия освоения предусматривает построение сценариев (экономических, экологических) в рамках, которых решается «узкая» задача, связанная с организацией работ, оптимизацией себестоимости и др.

Научная новизна. Впервые описан механизм формирования эффективности освоения месторождения, предусматривающий иерархическую структуру, в основе которой категория «качество», которая в свою очередь формирует стратегии; стратегии формируют сценарии, а сценарии содержат параметры; оптимизация каждого параметра предполагает оценку приоритетных управляющих факторов. Впервые предложен алгоритм оптимального проектиро-

вания освоения месторождения полезных ископаемых, который предусматривает определение объема производства, минимизации рисков, определение параметров, которые соответствуют критерию оптимальности и их дальнейшую оптимизацию.

Практическая значимость. Впервые предложены методики и результаты исследований по оптимальному проектированию параметров эксплуатации месторождений ценных полезных ископаемых Украины, которые являются основой методологии решения сложных задач оптимизации параметров горно-обогатительного предприятия и соответствуют современному уровню информационных технологий.

Ключевые слова: уголь, руда, золото, освоение месторождений, проектирование, моделирование, состояние запасов, динамическое программирование, рациональный объем, параметры производства, экология, оптимизация, компьютерные программы, инновация, эффективная эксплуатация

ABOUT AUTHORS

Khorolskyi Andrii, Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: khorolskiyaa@ukr.net

Grinev Vladimir, Doctor of Technical Science, Professor, Head of laboratory, Institute for Physics of Mining Processes of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2A Simferopolskaya Street, Dnipro, Ukraine, 49600. E-mail: grinevv@ukr.net