METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEM IN THE MINING INDUSTRY

A. Khorolskyi[1] & V. Hrinov[1]*
[1]Institute for Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine
[*]Corresponding author: khorolskiyaa@ukr.net

Abstract. The aim of the article is to develop new approaches to the design of processes in the mining industry. The presented research presents the main methodological approaches to creating a decision support system. A characteristic feature of this study is the system, integrity, hierarchy, the presence of a decision support system. The paper defines the field of rational operation, approaches to determining the quantity and quality of products, designing the technological cycle of obtaining the final product, the scope of these tools. The scientific novelty of the work is to develop the latest approaches, methods for designing the cycle of mining in the form of extracted raw materials or final products, as well as substantiation of the scope of these solutions. The practical value lies in the proposed decision support system for optimizing the cost of production, designing a cycle for obtaining final products, determining the rational volume of products, equipment selection, etc. The scope of these approaches is not limited to the mining industry but can be applied in related industries. The difference of the presented research is that at the design stage the economically advantageous options are compared with the environmentally friendly ones. Comparison of these options allows at the design stage to provide measures to reduce the man-made load on the environment in regions where mining is carried out.

Key words: process flow, network, optimization, parameter, software.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ГІРНИЧОВИДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ

А. Хорольський[1] & В. Гріньов[1]*
[1]Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, Дніпро, Україна
[*]Відповідальний автор: khorolskiyaa@ukr.net

Анотація. Метою статті є розробка нових підходів щодо проєктування процесів у гірничовидобувному комплексі. В представленому дослідженні наведені основні методичні підходи, щодо створення системи підтримки прийняття рішень. Характерною особливістю вказаного дослідження є системність, цілісність, ієрархічність, наявність системи підтримки прийняття рішень. В роботі дано визначення області раціональної експлуатації, підходів до визначення кількості і якості продукції, проєктування технологічного циклу отримання кінцевої продукції, області застосування наведених інструментів. Наукова новизна роботи полягає у розробці новітніх підходів, методів щодо проєктування циклу з видобутку корисної копалини у вигляді видобутої сировини або кінцевої продукції, а також обґрунтуванні області застосування наведених рішень. Практична цінність полягає у запропонованій системі підтримки прийняття рішень для оптимізації собівартості продукції, проєктування циклу з отримання кінцевої продукції, визначення раціонального обсягу продукції, вибору обладнання та ін. Область застосування наведених підходів не обмежується гірничовидобувною галуззю, а може бути застосована у суміжних галузях. Відмінністю представленого дослідження є те, що на стадії проєктування порівнюються економічно переважні варіанти з екологічно прийнятним. Порівняння цих варіантів дозволяє на стадії проєктування передбачити заходи зі зниження техногенного навантаження на довкілля у регіонах де ведеться видобуток корисних копалин.

Ключові слова: технологічний потік, мережа, оптимізація, параметр, програмне забезпечення.

1. Вступ

Існуючі світові тренди щодо процесів освоєння родовищ корисних копалин передбачають ряд системних принципів та підходів основною метою яких є відповідність цілям сталого

розвитку, що передбачає стале природокористування, наявність сучасних систем підтримки прийняття рішень, доцільність та обґрунтованість запропонованих інструментів, підходів, засобів. У відповідності до цього особа що приймає рішення (ОПР) виносить судження про прийнятне рішення не з позиції економічних переваг, а з позиції зниження техногенного навантаження на довкілля у регіонах де ведеться видобуток, урахування структури технологічного ланцюжку з отримання кінцевої продукції, загального промислового балансу у регіоні та країні в цілому. При цьому варто відзначити декілька принципових моментів, які формують актуальність представленого дослідження:

1) Яким чином розглядається родовище корисних копалин? З одного боку є держава – власник надр, а з іншого боку є власник родовища, тобто особа, що займається освоєнням вказаного родовища. І тут виникає перший «конфлікт». Основна мета з боку держави – продати ліцензію за більшою ціною, при цьому варто: а) – комплексно освоїти родовище; б) – площа, яку займають відходи виробництва повинна бути мінімальною; аналогічна ситуація і з водними ресурсами, повітрям у регіоні; в) – забезпечити населення у регіонах робочими місцями – таким чином вирішується питання зниження соціальної напруги. А з іншого боку є власник підприємства, основна мета якого – отримати найбільший прибуток від освоєння родовища в межах визначеної ліцензії, при цьому варто: а) мінімізувати собівартість готової продукції, а це не завжди узгоджується з екологічними нормами; б) продати готову продукцію за найвищою ціною; в) досягти економічної ефективності виробництва, при цьому, в нашій країні, неважливо яким чином це буде здійснено. Таким чином виникає проблема «економіко-екологічного конфлікту» – ситуації, коли задачі підприємців не узгоджуються з політикою держави у галузі управління процесом природокористування, а також комплексом заходів із зниження екологічної шкоди від виробництва. Ця ситуація переважно притаманна країнам із нерозвиненою економікою, незрілою політикою держави у галузі управління природокористуванням, тому вказана ситуація є, сподіваємось, тимчасовою, і рано чи пізно виникне гостра потреба: а) в узгодженні позиції держави і підприємців, щодо освоєння родовищ корисних копалин; б) в урахуванні екологічних варіантів при освоєнні родовищ.

2) Вибір інструменту прийняття рішень. Це досить важливе – системне питання, адже задача полягає: а) у виборі типу моделі, яка дозволить відповісти на питання – отримане рішення є кількісним чи якісним?; б) із вибору моделі слідує інший крок, який передбачає вибір інструменту прийняття рішень, а це передбачає врахування набору даних, опис моделі, а що саме головне – визначення критерію оптимальності, визначення області виконання прийнятого рішення; визначення оптимізаційного параметру або групи параметрів; в) після вибору інструменту прийняття рішень слід перейти до підходів, які дозволяють врахувати інструментальні особливості застосованої моделі; г) на основі обраних підходів визначаються алгоритми, які дозволяють їх реалізувати; д) лише після цього можна перейти до розробки системи підтримки прийняття рішень. Етап «д» характеризує методологічну завершеність дослідження. В роботі [1] проаналізовано існуючі моделі, методи, інструменти прийняття рішень у гірничовидобувній галузі.

3) Обґрунтування простору проєктування. Це принципове питання на якому не завжди акцентують увагу дослідники при розробці нових методів прийняття рішень. Із визначення терміну проєктування [2] слідує, що сам процес проєктування направлений на встановлення оптимальної структури виробничого циклу, процесу, який направлений на створення нової одиниці продукції, тобто необхідно передбачити ряд взаємозв’язків у структурі технологічного циклу, що дозволить втілити рішення, яке передбачає виготовлення одиниці продукції. Саме тому, необхідно передбачити область при якій вказане рішення є оптимальним та може бути реалізованим. Таким чином, характерною особливістю вказаного дослідження є те, що запропонований підхід включає область раціональної експлуатації – сукупність гірничо-геологічних умов, економічних, соціальних, екологічних, технологічних чинників, які впливають на кінцеву ефективність процесу. Тобто, без визначення раціонального обсягу виробництва, гірничо-геологічних умов експлуатації, технологічного циклу з отримання кінцевої продукції, екологічних переваг неможливо перейти до вирішення

задачі оптимізації параметрів експлуатації. В роботах [3, 4] наведено результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин.

4) Створення системи підтримки прийняття рішень (СППР) – це не що інше, як системи, які використовують програмне забезпечення, бази даних, моделі, які враховують специфіку задач та дозволяють прийняти рішення ОПР [5]. При цьому, правильно розроблена СППР дозволяє ОПР прийняти оптимальне рішення щодо структури виробничого циклу та в подальшому оптимізувати параметри, а не навпаки [6]. Неодмінними умовами є цілісність, системність, ієрархічність [7]. І, безпосередньо, із визначення СППР слідує її «специфічність», тобто відповідність визначеній області застосування та колу задач [8].

Всі визначені (1-4) моменти, у вигляді сформованих питань, формують актуальну наукову проблему, яка полягає у створенні наукових основ проєктування процесів освоєнні родовищ корисних копалин в межах визначен—ого простору проєктування. Наукову цінність роботи формують новітні підходи, щодо проєктування процесів гірничовидобувної галузі. Практичне значення роботи визначає запропонована СППР.

В представленому досліджені наведено методологічне обґрунтування та результати зі створення СППР.

2. Методика

Принципова структура економіко-математичної моделі для діючого підприємства з видобутку корисної копалини можна представити наступним чином [9]

$$E = \sum_{t=1}^{T}(A_t \cdot Ц_t - \sum_{t=1}^{m} C_{it} - \sum_{t=1}^{m} K_{it})\,(1 + E_{нп})^{-t} \rightarrow max,$$

де A_t – обсяг видобутку в t – році, тис. т;

$Ц_t$ – ціна на одиницю продукції в t – році, у.о./т;

C_{it} – річні експлуатаційні витрати по i – процесу (об'єкту) в t – році з відніманням річних амортизаційних витрат, тис. у.о.;

K_{it} – обсяг річних капітальних витрат по i – процесу (об'єкту) в t – році, тис. у.о.;

$E_{нп}$ – ставка дисконтування для приведення різних витрат за роками до одного виду, виражається у долях від одиниці;

T – тривалість періоду оптимізації, років.

Вказана модель повинна включати як вхідні параметри у вигляді схем розкриття, підготовки, транспорту, видобутку, ступеню механізації так і вихідних у вигляді зміни обсягів робіт та витрат за кожним із видом робіт по кожному по i – процесу (об'єкту) на весь період оптимізації T. При цьому вихідні параметри виступають в ролі «обмежувальних» та визначають ефективність виробництва. До числа таких параметрів можна віднести: обсяг капітальних витрат; витрати за кожним видом робіт; прибуток від реалізації одиниці продукції, якість продукції, обсяг робіт. При цьому окрім «обмежувальних» параметрів враховується і рівень приведених витрат.

Приведені витрати визначаються за формулою [10]

$$E_{пр} = \sum_{t=1}^{T}(\sum_{t=1}^{m} C_{it} + \Delta\, C_б A_t)(1 + E_{нп})^{-t} + E_н \sum_{t=1}^{m} \times \Big[\sum_{t=1}^{T_c} K_{it}(1 - E_{нп})^t + \sum_{t=T_{c+1}}^{T} K_{it}(1 + E_{нп})^{-t}\Big],$$

де $E_н$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

C_{it} – річні експлуатаційні витрати по i – процесу (об'єкту) в t – році з відніманням річних амортизаційних витрат, тис. у.о.;

$\Delta C_б$ – умовно-постійна частина експлуатаційних витрат, доля одиниці;

A_t – об'єм видобутку в t – році в товарному вимірі, тис. т;

$E_{нп}$ – норматив для приведення різночасових витрат;

K_{it} – капітальні вкладення за окремим процесом (об'єктом);

При цьому приведені витрати $E_{\text{пр}}$ можна розрахувати як для окремого року так і сумарні за розрахунковий період, а також і середні. Для цього варто кожну складову привести до одного виду, наприклад, загальні капітальні витрати в:

- t – році розрахункового періоду

$$K_t = \sum_{i=1}^{m} K_{it}$$

- сумарні за розрахунковий період

$$K = \sum_{t=1}^{T} K_t$$

- середньорічні значення

$$\overline{K} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} K_t$$

У якості складових витрат по підприємству можуть бути прийняті економічні показники по окремим ланкам гірничого виробництва, які наведені в таблиці 1. Завдяки цьому моделюються витрати на проведення, підтримання гірничих виробок, очисні роботи, транспорт, підйом, вентиляцію виробок, дегазацію, водовідлив, кондиціонування, а також ряд інших витрат, які пов'язані із видобутком корисних копалин.

Таблиця 1 – Основні технологічні процеси гірничого виробництва

Індекс	Процеси або об'єкти гірничого виробництва	Капітальні витрати	Експлуатаційні витрати
i=1	Проведення або розширення гірських виробок	K_1	C_1
i=2	Підтримка гірських виробок	–	C_2
i=3	Очисні роботи	K_3	C_3
i=4	Підземний транспорт та підйом	K_4	C_4
i=5	Вентиляція	K_5	C_5
i=6	Дегазація	K_6	C_6
i=7	Водовідлив	K_7	C_7
i=8	Кондиціонування повітря	K_8	C_8
i=9	Допоміжні процеси, які супроводжують видобуток	K_9	C_9

Наведені в табл. 1 процеси супроводжують гірниче виробництво та мають певні задачі, які можуть бути формалізовані у вигляді певних задач та алгоритмів, які можна описати в табл. 2.

Таблиця 2 – Формалізація технологічних процесів гірничого виробництва

Процеси або об'єкти гірничого виробництва	Формалізований опис задачі	Цільова функція
Проведення або розширення гірських виробок	Визначення об'ємів та вартості гірничих робіт по капітальним та експлуатаційним витратам, а також часу на проведення гірничих виробок.	Вартість гірничих робіт на проведення та підтримку гірничих виробок, що передбачає визначення протяжності гірничих виробок, поперечних перерізів, витрат на проведення та обслуговування.

Підтримка гірських виробок	Визначення вартості гірничих робіт по процесам кріплення, підтримки, обслуговування гірничих виробок.	Вартість робіт на підтримку гірничих виробок (передбачає складські витрати на поверхні, транспорт по підземним виробкам, складські витрати, зведення тимчасового кріплення, технологічні операції з буріння, зачистки, витрати на зведення постійного кріплення, витрати на демонтаж кріплення).
Очисні роботи	Визначення вартості на видобуток 1 т корисної копалини, а також максимізація обсягів видобутку.	Вартість витрат на придбання, обслуговування, монтаж обладнання.
Підземний транспорт та підйом	Визначення вантажопотоків по гірничим виробкам та довжин транспортування для усіх періодів роботи підприємства. Це передбачає вибір засобів транспортування, розрахунок капітальних витрат. Під час моделювання визначаються усереднені показники вантажопотоків	Витрати на транспорт (передбачає розрахунок капітальних витрат на транспорт, придбання, монтаж, обслуговування обладнання)
Вентиляція	Необхідно описати змін стану мережі вентиляційних виробок підприємства з метою визначення мінімальних перерізів виробок для зменшення витрат на проведення	Витрати на провітрювання виробок (при цьому враховуються капітальні витрати на будівництво, придбання, монтаж вентиляційних установок, а також експлуатаційні витрати)
Дегазація	Необхідно описати комплекс робіт із дегазації пластів, що передбачає врахування технологічного циклу з буріння свердловин, всмоктування та нагнітання та ін.	Витрати за технологічним ланцюжком з дегазації пластів.
Водовідлив	Необхідно описати водовідливну мережу підземного комплексу, що включає насосні установки, водозбірники, водовідливні канавки, дільничий водовідлив, допоміжні пристосування. Задача	Витрати на відкачування 1 $м^3$ шахтної води. Це передбачає аналіз технологічного ланцюжку транспортування води по підземним виробкам, витрат на чистку водозбірників, зумпфу, водовідливних канавок;

	полягає у мінімізації витрат на відкачування вод, наприклад за рахунок врахування зон тарифів (денний-нічний) на електричну енергію.	витрат на обслуговування дільничого та головного водовідливу.
Кондиціонування повітря	Необхідно мінімізувати витрати на кондиціонування підземних виробок за рахунок визначення оптимального перерізу виробок. Це передбачає опис мережі установок, а також врахування робочого режиму головної шахтної вентиляторної установки.	Витрати на кондиціонування 1 м^{3}підземного простору, що передбачає аналіз технологічного циклу із придбання, монтажу, обслуговування установок із кондиціонування повітря.

Аналогічним чином можна описати допоміжні процеси.

3. Результати та обговорення

Незалежно від технологічних операцій, які описані у таблиці 2 задача полягає у максимізації чи мінімізації оптимізаційного параметру. При цьому варто відзначити, що усі процеси гірничого виробництва пов'язані між собою у просторі та часі. Наприклад, задачу максимізації видобутку не можна вирішити без узгодження темпів проведення гірничих виробок, що передбачає спорудження виробок певного перерізу, який в свою чергу визначається транспортною інфраструктурою, пило-газовим режимом, метаноємністю пласта та ін. Ми бачимо, що для процесів в очисному вибої обмежувальними факторами будуть: гірничо-геологічні умови (потужність пласта, кут падіння пласта, обводненність, наявність включень порід, гіпсометрія пласта та ін.), технологічні умови (довжина очисного вибою, порядок відпрацювання, порядок зарубки та ін.), рівень метану в повітрі, що залежить від ефективності провітрювання, дегазації; а також повинно узгоджуватись із фронтом прохідницьких робіт, пропускними можливостями транспортного ланцюжку. Однак, і самі очисні роботи впливають на роботу підйомних установок, роботу збагачувальної фабрики та ін. Аналогічним чином можна описати будь-який процес гірничого виробництва, який є обмеженим у просторі і часі і при цьому сам є «обмежувальним» чинником для супутніх процесів у технологічному ланцюжку. На цьому прикладі можна сформулювати основні вимоги до СППР:

- цілісність, у відповідності до поставленої задачі технологія відпрацювання корисної копалини розглядається як єдине ціле, тобто необхідно узгодити всі вищенаведені процеси із видобутку, транспортування, водовідливу, проведення та підтримки виробок та ін.;
- ієрархічність, полягає в тому, що при виборі враховуються не тільки взаємозв'язки між технологічними процесами, але і зв'язки в структурі технології транспорту, видобутку, проведення та підтримки виробок та ін.;
- структуризація, передбачає можливість оптимізації не тільки всього технологічного ланцюжку, але і можливість вибору оптимальних структур на проміжних рівнях, тобто через оптимізацію технологічних процесів на попередніх рівнях досягається послідовна оптимізація усього процесу із відпрацювання родовища корисної копалини;
- системність, тобто параметри області застосування кожного технологічного рішення відповідають області застосування усього технологічного циклу; ця властивість є визначальною та формує особливість представленого дослідження, яке ґрунтується на визначенні простору проєктування в межах області раціональної експлуатації;
- множинність, передбачає наявність стандартних мережевих моделей для запропонованих альтернатив технології.

Основною вимогою при розробці методології на базі системних підходів є можливість структурної оптимізації. Процес отримання серії системних ефектів з метою оптимізації прикладної мети в залежності від заданих обмежень називається структурною оптимізацією.

Урахування цих принципів, а також підходів [11, 12], методик [13, 14] запропонованих авторами дослідження дозволяють сформувати методичні підходи щодо створення СППР у гірничовидобувній галузі (табл. 3).

Таблиця 3 – Методичні підходи, щодо створення СППР у гірничовидобувній галузі

Ознака	Характеристика
Показник ефективності	Показником ефективності процесу відпрацювання родовищ корисних копалин, незалежно від її типу, є якість. Якість це філософська категорія, яка виражає сукупність ознак та властивостей, які відрізняють один предмет чи явище від інших і дають йому визначеність [15]. Для категорії «якість» дуже є одна важлива властивість – предмет не може залишаючись самим собою втратити якість, тобто якість виражає сукупність характеристик предмету, явища, системи.
Визначення процесу видобутку	Процес відпрацювання родовищ корисних копалин, який передбачає вилучення копалини із надр, є не завершеним, а лише є проміжною ланкою, а само підприємство (шахта, кар'єр, рудник) є складовою у ланцюжку з отримання кінцевої продукції. Тобто, процес видобутку вугілля та шахта, як підприємство з видобутку, розглядається не як окрема структура, а лише як проміжна ланка у системі генерації металу або електричної енергії.
Процедура оптимізації	Базується на обґрунтуванні меж області раціонального проєктування та реалізується процедурою представлення життєвого циклу родовища у вигляді декомпозиційної схеми, у вигляді мережевої моделі, яка відображає зміну стану запасів від балансових до кінцевої продукції. При цьому в цій схемі кожній альтернативі відповідають реальні зв'язки, оптимальному рішенню відповідає найкоротший маршрут від початкової вершини до кінцевої. Пошук маршруту можна здійснювати, як в прямому та і у зворотному порядку, але обов'язковою умовою є принцип «оптимальності Р. Беллмана», коли для управління на кожному кроці треба вибирати так, щоб оптимальною була сума виграшів на всіх, що залишилися до кінця процесу, кроках, включаючи виграш на даному кроці, тобто без знаходження найкращого рішення неможливо перейти до процедури пошуку оптимального рішення на наступному кроці.
Реалізація процедури оптимізації параметрів	Для того, щоб уникнути «багатоманіття та незв'язність» параметрів слід застосувати декомпозиційний підхід [16]. Суть декомпозиційного підходу полягає в тому, що на кожному етапі визначається один – головний параметр, а інші – як допоміжні. Від оптимізації саме цього параметру залежить ефективність процесу в цей проміжок часу.
Кінцевий результат	Кінцевим результатом СППР є «Паспорт на розробку родовищ корисної копалини». У паспорті зазначено раціональний обсяг вилучення корисної копалини, заходи із забезпечення зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище, оптимальний життєвий цикл родовища у відповідності до типу корисної копалини, технологічні схеми розробки, порядок відпрацювання запасів, загальні рекомендації із вибору обладнання, побудови технологічних ланцюжків.

Також передбачається комплекс заходів щодо зменшення техногенного навантаження на довкілля. Це реалізується порівнянням між собою найбільш економічно переважної та найбільш екологічно безпечної технологій освоєння. При цьому, дані про безпечність технології формується на основі даних екологів та ранжується за ступенем техногенного навантаження на навколишнє середовище [17].

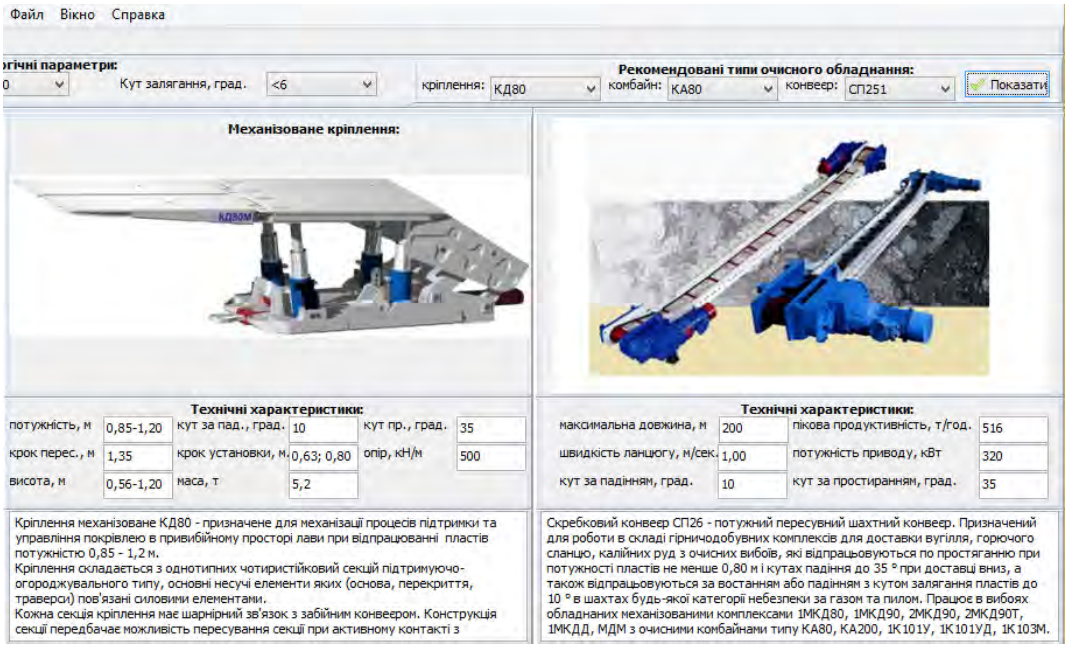

Рис. 1. Робоче вікно програми вибору оптимальних комплектацій очисного обладнання («CountsCEM.v1.p2.6_c25»)

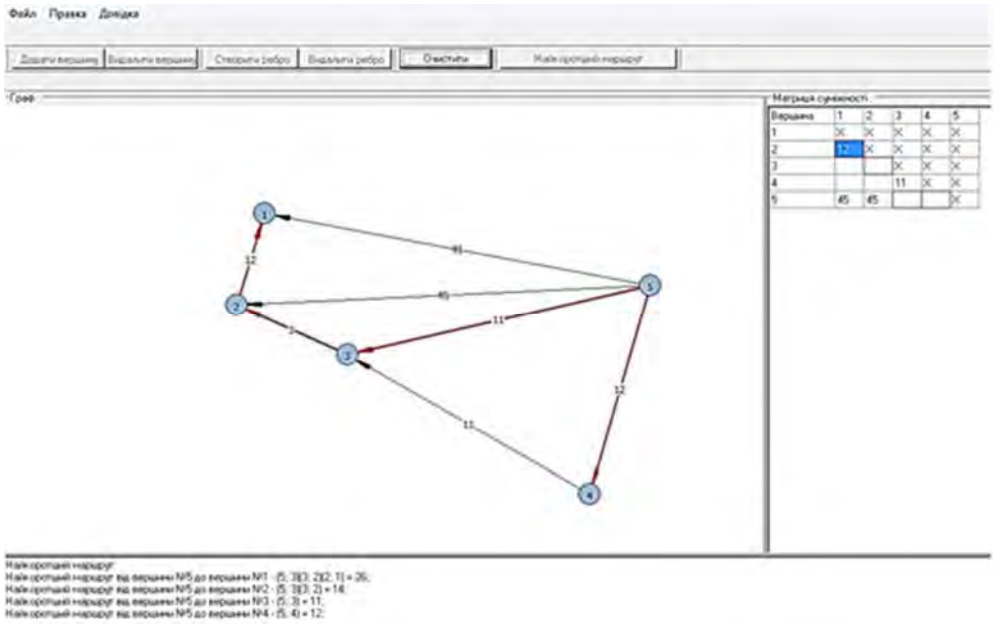

Рис. 2. Робоче вікно програми динамічного програмування альтернативного графа на мінімум «DinMin.v2_2019»

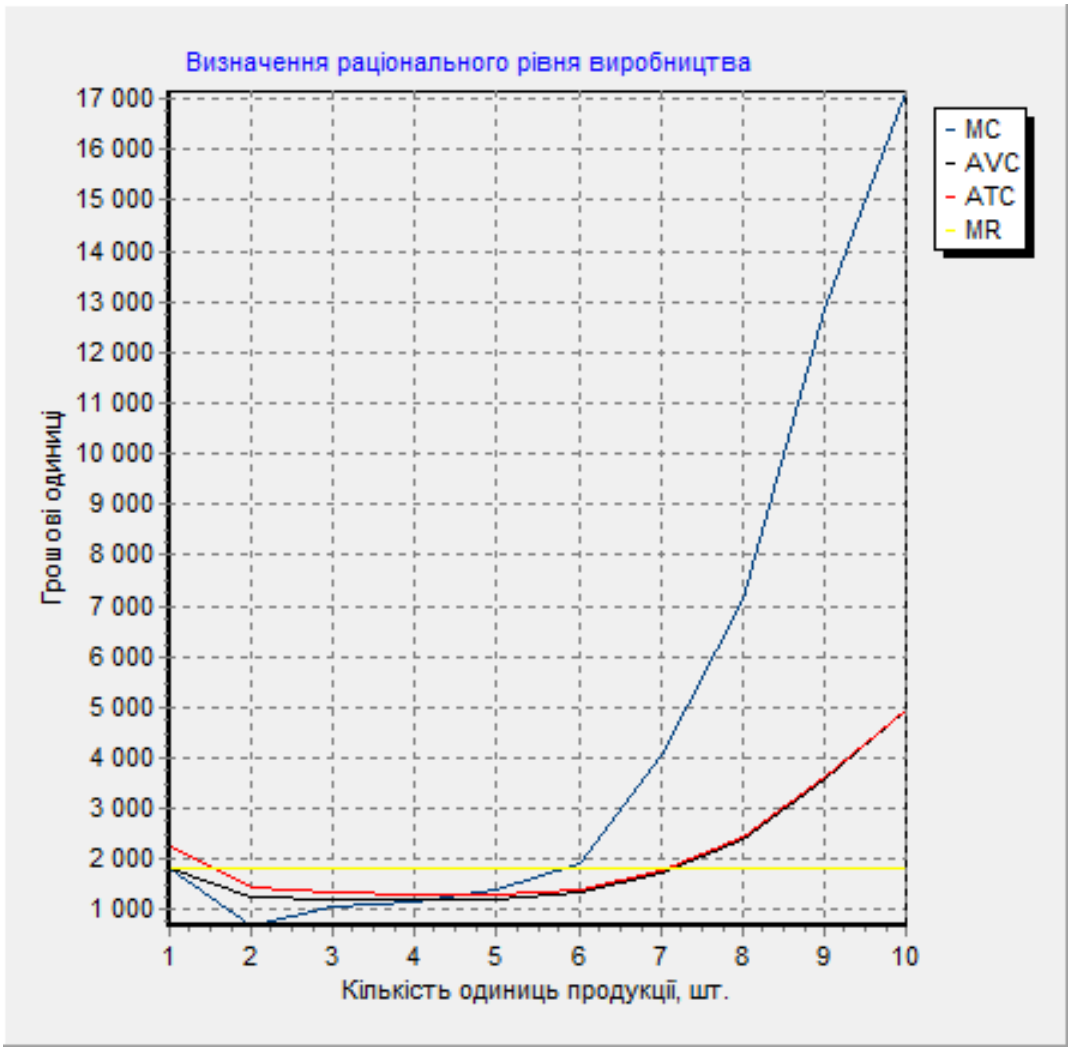

Рис. 3. Робоче вікно програми визначення рівня виробництва продукції з надр» («Rational LP.v1.2020»)

Таким чином, наведені методичні підходи дозволяють створити СППР для гірничовидобувної галузі, яка включає набір програмних продуктів для вирішення складних багатопараметричних задач гірничого виробництва (рис. 1, рис. 2).

Розрахунки модернізації технологічного ланцюжку на діючих шахтах Донбасу за допомогою сучасних методів дискретної математики (програми «CountsCEM.v1.p2.6_c25», «GraphON.v1.2017») показують, що вибір області раціональної експлуатації гірничо-шахтного обладнання має значний економічний ефект (приклад вирішення завдання в умовах ДП ВК «Шахта «Краснолиманська») [18].

На прикладі аналізу показників реального невеликого золоторудного родовища було продемонстровано тестування комп'ютерної програми «Rational LP.v1.2020» (рис. 3) щодо визначення раціонального обсягу видобутку золота, який дозволяв максимізувати прибуток фірми у короткостроковому періоді [19]. Також приклад аналогічного тестування відносно вугільної продукції вироблюваної стабільно працюючими державними та приватними вугільними підприємствами показав, що маржинальний підхід порівняння доходів і витрат працює і у форматі ринкової економіки дає класичні результати [19]. Таким чином, вказаний інструмент, щодо визначення обсягів виробництва є ефективним.

Для розробки нового підходу до проєктування технологічних схем видобутку вугілля було проведено обґрунтування раціонального рівня роботи очисного вибою, в якому були використані методи дослідження операцій, які базуються на застосуванні критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності (Програма «Kritery.v2.2019»). При цьому було встановлено

закономірності формування технологічних ланцюжків очисного обладнання при заданому рівні видобутку в залежності від умов експлуатації та параметрів обладнання [20].

4. Висновки

В процесі виконання дослідження отримано важливі наукові результати, які можна сформулювати наступним чином:

1. Для розробки СППР слід обґрунтувати межі області раціонального проєктування, що передбачає визначення оптимальних чисельних значень сукупності параметрів, які супроводжують процеси відпрацювання родовищ корисних копалин. Процес визначення сукупності оптимальних параметрів здійснюється за рахунок дослідження стану зміни запасів корисної копалини від балансових до кінцевої продукції. Тоді, для безпечного та ефективного відпрацювання родовищ корисних копалин слід обґрунтувати характеристики процесів, тобто навести технологічні ланцюжки, технологічні схеми, показники якості сировини, визначити обсяг видобутку та ін.
2. В процесі розробки СППР було сформовано концептуальні засади ефективного відпрацювання родовищ корисних копалин, згідно яких – критерієм оптимальності є якість, яка виражається зольністю, ступенем зубожіння, негативного впливу на навколишнє середовище; проєктування процесів починається з визначення обсягу вилучення корисної копалини із надр; при проєктуванні слід аналізувати економічну та екологічну стратегії відпрацювання, при цьому у разі не-відповідності економічно переважної стратегії екологічно безпечній слід передбачити додаткові етапи зі збагачення корисної копалини, рекультивації та ін.; пошук оптимального сценарію відпрацювання родовища реалізується шляхом відображення життєвого циклу родовища у вигляді декомпозиційної схеми, представленої у вигляді мережевої моделі, а сам процес оптимізації передбачає дослідження зміни стану запасів від балансових до кінцевої продукції.
3. В результаті реалізації наведених підходів можна отримати «Паспорт відпрацювання родовища корисної копалини». В цьому паспорті будуть зазначені параметри, які дозволять інтенсифікувати процес видобутку корисної копалини з мінімальною собівартістю видобутку та найменшим ступенем негативного впливу на навколишнє середовище. Застосування розробленого програмного забезпечення дозволить впровадити результати дослідження у виробництво.

Вдячність

Дослідження виконано в рамках досліджень науково-дослідних робіт Національної академії наук України серед молодих вчених. Назва проекту «Ресурсозберігаючі способи підтримки виробок в складних гідрогеологічних умовах», договір №29-04/06-2020; № державної реєстрації 0119U102370.

The study has been carried out within the framework of research project of the NAS of Ukraine for young scientists “Resource-saving techniques to support mine workings under the complex hydrogeological conditions”; Agreement #29-04/06-2020; official registration # 0119U102370.

Список літератури

1. 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. doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017
2. Хорольський, А. О. (2021). Наукові основи обґрунтування меж області раціонального проєктування при відпрацюванні родовищ корисних копалин. *Физико-технические проблемы горного производства*, *(23),* 149-173. https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.011.
3. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. E3S Web Of Conferences, 201, 01030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030
4. Хорольський, А. О., & Гріньов, В. Г. (2020). Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. *Физико-технические проблемы горного производства*, *(22),* 118-140. https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009

5. El Maraghy, H.A. (2005). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. *International journal of flexible manufacturing systems*, 17(4), 261–276.
6. 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.
7. 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.
8. Felipe, J., & Adams, F.G. (2005). "A theory of production" the estimation of the Cobb-Douglas function: A retrospective view. *Eastern Economic Journal*, 31(3), 427–445.
9. Сребный М. А., Харченко В. А., & Еремеев В. М. (1980*). Развитие горных работ на действующих шахтах*. Недра, 184 с.
10. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 491–496.
11. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, *6*(3), 463-471.
12. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Demchenko, Yu. (2019). Models and methods to make decisions while mining production scheduling. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 53–62. https://doi.org/10.33271/mining13.04.053
13. Гріньов, В. Г., & Хорольський, А. О. (2019). Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. *Физико-технические проблемы горного производства*. *Физико-технические проблемы горного производства*, *(21),* 128-145. https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.008
14. Гріньов, 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
15. *Философия*: Энциклопедичний словарь. (2004). Гардарики, 550 с.
16. *Математический энциклопедический словарь*. (1995). Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 847 с.
17. Kulshreshtha, M., & Parikh J. (2002). Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*. 24(5), 439-453.
18. Гринев, В.Г., & Хорольский, А.А. (2017). Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых. *Горно-геологический журнал*, 51(3), 18–24.
19. Хорольський, А. & Гріньов, В. (2020). Визначення раціонального обсягу вилучення корисних копалин із надр: маржинальний підхід. *Економіка промисловості*, 3(91), 82–95. https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.082
20. . Гріньов, В.Г., & Хорольський, А.О. (2020). Дослідження основ технології оптимального проєктування раціонального користування родовищами цінних копалин. *Мінеральні ресурси України*, 2, 19–24. https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24

References

1. 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. doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017
2. Khorolskyi, A. O. (2021). Naukovi osnovy obgruntuvannia mezh oblasti ratsionalnoho proiektuvannia pry vidpratsiuvanni rodovyshch korysnykh kopalyn. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (23), 149-173. https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.011
3. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. E3S Web Of Conferences, 201, 01030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030

4. Khorolskyi, A. & Hrynov, V. (2020) Otsinka i vybir parametriv pry rozrobtsi rodovyshch korysnykh kopalyn. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*, (22), 118–140. https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009
5. El Maraghy, H.A. (2005). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. *International journal of flexible manufacturing systems*, 17(4), 261–276.
6. 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.
7. 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.
8. Felipe, J., & Adams, F.G. (2005). "A theory of production" the estimation of the Cobb-Douglas function: A retrospective view. *Eastern Economic Journal*, 31(3), 427–445.
9. Srebnyi M. A., Kharchenko V. A., & Eremeev V. M. (1980). *Razvytye hornykh rabot na deistvuiushchykh shakhtakh. Nedra*, 184 p.
10. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 491–496.
11. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, *6*(3), 463-471.
12. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Demchenko, Yu. (2019). Models and methods to make decisions while mining production scheduling. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 53–62. https://doi.org/10.33271/mining13.04.053
13. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2019). Optymalne proektuvannia parametriv hirnychoz-bahachuvalnykh pidpryiemstv dlia ratsionalnoho osvoiennia tsinnykh rodovyshch Ukrainy. *Fyzyko-tekhnycheskye problemy hornoho proyzvodstva*. (21), 124–145
14. 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
15. *Filosofiya: Enciklopedichnij slovar'*. (2004). Gardariki, 550 p.
16. *Matematicheskij enciklopedicheskij slovar'*. (1995). Nauchnoe izdatel'stvo «Bol'- shaya Rossijskaya enciklopediya», 847 p.
17. Kulshreshtha, M., & Parikh J. (2002). Study of efficiency and productivity growth in opencast and underground coal mining in India: a DEA analysis. *Energy Economics*. 24(5), 439-453.
18. Grinev, V.G., & Khorolskyi, A.A. (2017). Sistema podderzhki prinyatiya reshenij pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. *Gorno-geologicheskij zhurnal*, 51(3), 18–24.
19. Khorolskyi, A. & Grin'ov, V. (2020). Viznachennya racional'nogo obsyagu viluchennya korisnih kopalin iz nadr: marzhinal'nij pidhid. Ekonomika promislovosti, 3(91), 82–95. https://doi.org/10.15407/econindustry2020.03.082
20. Grin'ov, V.G., & Khorolskyi, A.O. (2020). Doslidzhennya osnov tekhnologii optimal'nogo proektuvannya racional'nogo koristuvannya rodovishchami cinnih kopalin. Mineral'ni resursi Ukrainy, 2, 19–24. https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24