

© А.О. Хорольський<sup>1</sup>, А.В. Косенко<sup>1</sup>, І.І. Чоботко<sup>1</sup>

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

## **МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИМ СТАНОМ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

© A. Khorolskyi<sup>1</sup>, A. Kosenko, I. Chobotko<sup>1</sup>

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

## **METHODOLOGY FOR DESIGNING MULTIPARAMETER PROCESSES FOR CONTROL OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A ROCK MASS**

**Мета.** Розробити новий підхід щодо проєктування багатопараметричних процесів управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід на основі застосування декомпозиційного підходу й алгоритмів оптимізації.

**Методика.** Для вирішення поставленої задачі застосовано комплексний метод, що полягає у формалізації альтернативних технологічних рішень щодо управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід шляхом перетворення у мережеві моделі. Подальше застосування алгоритмів оптимізації на мережевих моделях і графах дозволяє обрати найбільш оптимальну технологію спорудження чи експлуатації гірничих виробок.

**Результати.** Розроблено методологічний підхід щодо проєктування процесів управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід. Для цього, у якості інструменту прийняття рішень, застосовано декомпозиційний підхід, що дозволило врахувати багатоманітність параметрів, які впливають на ефективність спорудження чи експлуатації виробок. Після вибору інструментів прийняття рішень було запропоновано критерій оцінки ефективності спорудження чи експлуатації гірничих виробок, який враховує ймовірнісну надійність і витрати на спорудження або експлуатацію. Для проєктування багатопараметричних процесів управління напружено-деформованим станом було досліджено технологічні цикли зі зведення та експлуатації кріплення гірничих виробок із застосуванням альтернативних технологій і матеріалів, що дозволило виявити загальні етапи та перейти до формалізації задачі із пошуку оптимальної технології. Процедура формалізації передбачала представлення альтернативних технологій та рішень у вигляді мережевої моделі. Подальше застосування алгоритмів оптимізації дозволило визначити найбільш оптимальний тип кріплення з позиції мінімізації оптимізаційного параметру.

**Наукова новизна.** Розроблено та наведено алгоритмічну процедуру процесу проєктування багатопараметричних процесів управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід на основі застосування декомпозиційного підходу, що дозволило врахувати багатоманітність, за природою і ступенем впливу параметрів, а також визначити найбільш оптимальні способи спорудження чи експлуатації гірничих виробок.

**Практична значимість.** Визначено критерій ефективності процесу спорудження чи експлуатації виробок, що дозволило перейти до узагальнення технологічних етапів спорудження й експлуатації гірничих виробок незалежно від типу кріплення. На основі застосування алгоритмів оптимізації на мережах і графах створено систему підтримки прийняття рішень, яка дозволяє

автоматизувати процес проектування, а також визначати найбільш оптимальну технологію спорудження й експлуатації виробок залежно від заданого оптимізаційного параметру.

**Ключові слова:** масив гірських порід, проектування, параметр, технологія, експлуатація, гірничі виробки, вироблений простір, програмне забезпечення.

**Вступ.** Управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід – складний та багатопараметричний процес, який передбачає узгодження у часі та просторі технологічних операцій із доставки, розвантаження, допоміжних робіт і безпосередньо закріплення виробленого простору. При цьому, необхідними умовами є: висока надійність закріплення виробленого простору, мінімальна кількість матеріалів необхідних для закріплення виробленого простору, удосконалення організаційної структури процесу, а також пришвидшення темпів закріплення чи будівництва виробок. Наявність цих вимог спричиняє пошук нових видів та технологій управління напружено-деформованим станом масиву гірських порід [1, 2], застосування новітніх матеріалів [3, 4], заходів із пошуку та відтворення внутрішніх резервів у організаційній структурі [5], створення новітніх сумішей [6, 7] та відповідної техніки [8], при цьому недостатня увага приділяється процесам проектування, які дозволяють оцінити ефективність впровадження наведених вище заходів, технологій, матеріалів, тощо. Це пояснюється наступними принциповими моментами:

– під час процесу проектування особливу увагу приділяють критерію оптимальності, саме він істотним чином впливає на вибір технології управління напружено-деформованим станом (НДС) масиву гірських порід, але більш доцільно процес проектування розглядати із декількох, взаємовиключних, сторін;

– на ефективність процесу впливає ряд факторів, які різні за своєю природою та ступенем впливу на різних стадіях спорудження чи експлуатації виробок; якщо застосовувати методи лінійного програмування для оптимізації одного параметру, то це пошук  $n=1$  рішень – лінійна поверхня, для оптимізації двох параметрів, то це  $n=2$  рішень – об’ємна задача, а якщо таких параметрів більше двох, то це  $2^n$  – простір ( $n$  – кількість параметрів), які неможливо оптимізувати арифметичними обчисленнями, навіть застосування сучасної обчислювальної техніки не дозволяє врахувати усі параметри (через брак обчислювальних ресурсів, при цьому достовірність отриманого рішення буде мінімальною, адже параметри різні за природою та ступенем впливу на різних стадіях);

– зворотній зв’язок між технологією та гірничо-геологічними умовами, адже з одного боку гірничо-геологічні умови визначають технологію спорудження виробок, але з іншого боку і технологія спорудження виробок дозволяє мінімізувати негативні прояви несприятливих гірничо-геологічних умов (фільтрація, обводнення, тріщинуватість, тощо), таким чином задача управління НДС масиву гірських порід відноситься до технологічних аспектів фізики гірничих процесів [9, 10], тому на основі уявлень про закономірності

формування ефективності процесу експлуатації родовищ [11] та методологічних основ проектування процесів відпрацювання [12] можна реалізувати технологію проектування багатопараметричних процесів управління НДС.

Отже, створення новітніх підходів до проектування процесів управління НДС масиву гірських порід на основі застосування декомпозиційного методу є актуальною науковою задачею. Для вирішення цієї задачі, в представленій роботі, наведено методи прийняття рішень, процедуру оптимізації, а також описано систему підтримки прийняття рішень (СППР) – все це дозволило створити новий підхід, щодо проектування процесів спорудження та експлуатації гірничих виробок. На основі наведеного підходу можна оцінити ефективність застосування альтернативних видів кріплення, а наведена СППР дозволяє автоматизувати процес проектування.

**Основна частина.** Розробка нового підходу для проектування процесів кріплення виробки передбачає ряд визначень, без уточнення, яких не можна буде перейти до викладу методики дослідження.

Спосіб – прийом, дія, метод, що застосовуються при виконанні якої-небудь роботи, при здійсненні чого-небудь. Отже, спосіб кріплення виробки спрямований на підтримку виробленого простору і реалізується послідовністю певних етапів.

Етап – окремий момент, період в будь-якої діяльності, який за своїм характером і наслідками відрізняється від попередніх і наступних періодів цієї діяльності. Таким чином, необхідно незалежно від способу кріплення виробки встановити загальні етапи, які будуть впливати на параметри технологічної схеми.

Параметр – величина, що характеризує основні суттєві особливості процесів або об'єктів. З цього випливає, що сам параметр може бути оптимізується з метою підвищення ефективності.

Ефективність – зв'язок між досягнутим результатом і використаними ресурсами. Саме визначення має на увазі пошук балансу між витраченими коштами і кінцевою ефективністю. У випадку з кріпленням це доцільність.

Доцільність – відповідність явища або процесу певному стану, матеріальна або ідеальна модель якого виступає в якості мети; форма прояву причинно-наслідкових відносин.

Прийняті визначення дозволили нам сформулювати наступний порядок дій, який полягає у встановленні критерію ефективності кріплення, виявленні загальних етапів на стадії зведення кріплення, незалежно від типу кріплення, побудові моделі, пропозиції системи підтримки прийняття рішень.

При виборі кріплення користуються показником доцільності, який враховує вірогідну надійність і вірогідну ефективність [13]

$$k_D = V + k_{ef},$$

де  $k_D$  – коефіцієнт доцільності типу кріплення;  $V$  – імовірнісна надійність кріплення;  $k_{ef}$  – імовірнісна ефективність кріплення.

При цьому, якщо ймовірнісна надійність кріплення визначається тільки з досвіду, на основі спостережень за кількістю вивалам і обвалення порід, то ймовірнісна

ефективність характеризується співвідношенням між вартістю закріплення 1 погонного метра виробки запропонованим кріпленням до вартості закріплення 1 погонного метра – іншим, або еталонним. Варто також відзначити, що на стадії проектування значення  $V$  завжди прагне до 1 [14, 15], тому слід більш уважно поставитися до показника ймовірнісної ефективності. Остання враховує технологію спорудження виробок, дозволяє оптимізувати параметри експлуатації і може визначатися за формулою

$$k_{\text{ef}} = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{et}}} \rightarrow 1,$$

де  $k_{\text{ef}}$  – ймовірнісна ефективність;  $Q_{\text{min}}$  – вартість кріплення 1 погонного метра (пог. м) виробки;  $Q_{\text{et}}$  – вартість кріплення 1 пог. м виробки еталонним або іншим видом кріплення.

З наведених виразів можна сформулювати основні вимоги, що пред'являються до кріплення виробок: максимальні терміни служби, збереження в часі постійного перетину, максимальний ступінь механізації праці при мінімальних витратах на зведення та обслуговування [16].

Нами запропоновано для вирішення цього завдання використовувати декомпозиційний підхід [17]. Сутність декомпозиційного підходу полягає у виділенні цілі нижніх рівнів по ієрархії з мети верхнього рівня. Таким чином, після цього кожен з певних чинників розкладається на менші фактори, тобто відбувається перехід від більшого до меншого, а досягнення кінцевої мети відбувається за рахунок аналізу та оптимізації параметрів на початкових етапах. Відбувається перехід від вирішення загальної  $n$  – мірної задачі, до приватної, більш низько стоїть на ієрархії (одновимірної) задачі, що дозволяє заощадити обчислювальні ресурси [18].

Застосування графів і мережевих моделей дозволяє вирішити зазначене завдання. Для оптимізації процесу спорудження виробок в якості оптимізаційного параметру можна прийняти вартість закріплення 1 пог. м. виробки. Головна умова, вирішення цього завдання – взаємозв'язок всіх етапів між собою.

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 зв'язки між вершинами є взаємовиключними, тобто, якщо кріплення набризгбетонне або анкерне то можливість повторного застосування відсутня, при цьому відсутні витрати і на демонтаж. Теж саме і у зворотному порядку можна розглядати модель, якщо неможливо демонтувати кріплення із виробки, то анкерне кріплення не застосовується.

При цьому модель структурована за етапами (рівнями), тобто вершинами можуть відповідати альтернативні варіанти кріплення, можливі варіанти транспорту, можливі технології зведення тимчасового кріплення та ін. Для пошуку оптимальної стратегії необхідно, щоб були проаналізовані усі етапи, тобто необхідно знайти найкоротший маршрут від вершини 1 до вершини 17. Сукупність вершин, які відповідають етапам та відстаней між вершинами, які відповідають значенню оптимізаційного параметру формують мережеву модель.

Для оптимізації мережевої моделі необхідно виконати підготовчу роботу – виключити із подальшого розрахунку параметри, які неможливо оптимізувати. Математичний сенс запропонованої методології зводиться до наступного: сукупність проміжних операцій в технології спорудження кріплення, яким відповідають вершини забезпечують підтримання гірничої виробки, при цьому формуючи відносну собівартість зведення.

Для оптимізації запропоновано використовувати алгоритм Дейкстри [19] та Флойда-Воршелла [20].

Незалежно від матеріалу кріплення (рамно-податливе, набризкбетоне, анкерне та ін.) встановлено наявність загальних етапів, які полягають у вирізненні ряду локальних задач, зупинимось на них (табл. 1).

Таблиця 1

Етапи виконання завдання спорудження виробок

Етап	Назва етапу	Завдання	Суть рішення завдання
I	вантажні роботи з кріпленням на поверхні	необхідно організувати технологію, щоб скоротити витрати на переміщення	необхідно збалансувати потоки вхідних і вихідних ресурсів, а також вирішити задачу розміщення в просторі постачальників матеріалів і споживачів
II	доставка кріплення у виробках з урахуванням складських витрат	необхідно організувати технологію, щоб скоротити витрати на зберігання і ліквідувати тимчасові простой	необхідно збалансувати в просторі взаємозв'язку між поверхневим комплексом підприємства, складами, підземними виробками, забоями
III	підготовчі роботи (буріння шпурів та ін.)	необхідно організувати технологію, щоб скоротити витрати на проведення підготовчих робіт і скоротити часові витрати	необхідно вибрати бурильне, монтажне та ін. устаткування з мінімальною питомою собівартістю, а також скоротити кількість гірської маси, яка виникає в результаті підготовчих робіт
IV	зведення тимчасового кріплення	необхідно спроектувати технологію так, щоб досягалася економія матеріалів, а також знизилася тимчасові витрати на монтаж-демонтаж тимчасового кріплення	необхідно обґрунтувати спосіб зведення тимчасового кріплення з мінімальною матеріаломісткістю, мінімальними простоями, мінімальною кількістю гірської маси, що видається
V	зведення постійного кріплення	необхідно спроектувати технологію так, щоб досягалася економія матеріалів, а також знизилася тимчасові витрати на монтаж-демонтаж постійного кріплення	необхідно обґрунтувати спосіб зведення постійного кріплення з мінімальною матеріаломісткістю, мінімальними простоями, мінімальною кількістю видається гірської маси
VI	виймка і транспортування гірської маси внаслідок робіт	необхідно спроектувати технологію так, щоб скоротилися тимчасові простой пов'язані з прибиранням гірської маси із забою і мінімізувати собівартість	необхідно організувати роботу вантажно-доставочного обладнання, засобів транспортування, збалансувати в часі потоки гірської маси
VII	вилучення кріплення	необхідно організувати технологію так, щоб тимчасові витрати були мінімальними	необхідно обґрунтувати технологію демонтажу з мінімальною затратною тимчасових і людських ресурсів

Як видно з табл. 1 всі етапи універсальні і не залежать від типу кріплення, проте, кожен з розглянутих етапів може також бути розбитий на етапи і оптимізований.

Таким чином, завдання вибору способу кріплення виробок вирішується в наступній послідовності:

– по-перше, необхідно вибрати критерій ефективності при виборі способу, наприклад – собівартість виробництва кріплення 1 пог. м виробки;

– по-друге, необхідно виділити етапи в технології зведення кріплення;

– по-третє, для кожного рішення, на етапі, визначити значення оптимізаційного параметру (в нашому випадку – собівартість виробництва кріплення 1 пог. м виробки);

– по-четверте, уявити сукупність альтернативних рішень у вигляді мережевої моделі де вершинам відповідають альтернативи, а відстані між ними – значення оптимізаційного параметру;

– по-п'яте, знайти найкоротшу відстань від початкової до кінцевої вершини, яке буде відповідати оптимальному вирішенню.

У всіх перерахованих, вище завдань, суть рішення зводиться до мінімізації параметрів. Для цього необхідно представити весь цикл кріплення виробки у вигляді мережної моделі, де вершин будуть відповідати певні альтернативи, технології, а відстані між цими вершинами – значення оптимізаційного параметру.

Зобразимо на рис. 1 мережеву модель процесу спорудження виробки.

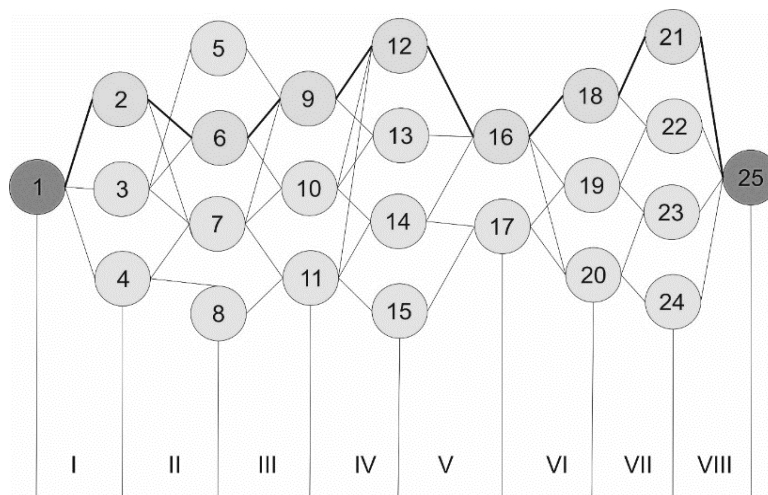


Рис. 1. Мережева модель для оптимізації параметрів спорудження виробок

Як вже раніше зазначалося, що за вершини приймаються варіанти технології, а за відстань між вершинами значення оптимізаційного параметру. Наведемо в табл. 2 пояснення до мережевої моделі, зображеної на рис. 1.

## Мережева формалізація завдання спорудження виробок

Позначення етапу на рис. 1	Назва етапу	Початкова вершина	Кінцева вершина (вершини на проміжних етапах)	Інтерпретація
I	вантажні роботи з кріпленням на поверхні	1	2-4	1 – вершина для початку відліку; 2-4 варіанти технології транспорту
II	доставка кріплення у виробках з урахуванням складських витрат	2	5-8	2 – оптимальна технологія після першого етапу; 5-8 технології транспорту
III	підготовчі роботи (буріння шпурів і т.д.)	6	9-11	6 – оптимальна технологія після двох етапів; 9-11 технології буріння
IV	зведення тимчасового кріплення	9	12-15	9 – оптимальна технологія після трьох етапів; 12-15 варіанти технології зведення тимчасового кріплення
V	зведення постійного кріплення	12	16-17	12 – оптимальна технологія після чотирьох етапів; 16 – технології кріплення
VI	виїмка і транспортування гірської маси внаслідок робіт	16	18-20	16 – оптимальна технологія після п'яти етапів; 18-20 технології транспорту
VII	витяг кріплення	18	21-24	18 – оптимальна технологія після шести етапів; 21-24 технології демонтажу
VIII	Завершення	24	25	21 – оптимальна технологія після семи етапів; 25 – завершення

Тоді задача знаходження оптимального рішення зводиться до пошуку найкоротшого маршруту від вершини 1 (початок) до кінцевої вершини (в нашому випадку 25). Для наочності ми найкоротший маршрут зобразили потовщеною лінією, а вершини, в яких досягаються оптимальні рішення на проміжних етапах виділили іншим кольором (рожевим). Необхідною умовою є те, що відстань між вершинами (ребра мережевий моделі) відповідають реальним виробничим взаємозв'язкам, тобто, якщо існує взаємозв'язок між точками (вершинами) 2 і 6, а також 2 і 7, то відстані між цими вершинами відповідає значення оптимізаційного параметру, а в разі, якщо взаємозв'язок між вершинами відсутній (наприклад, між 2 і 8, 2 і 5), то значення параметру приймаємо рівним нескінченності.

Знаходження найкоротшої відстані від початкової до кінцевої вершини, буде відповідати оптимальному вирішенню.

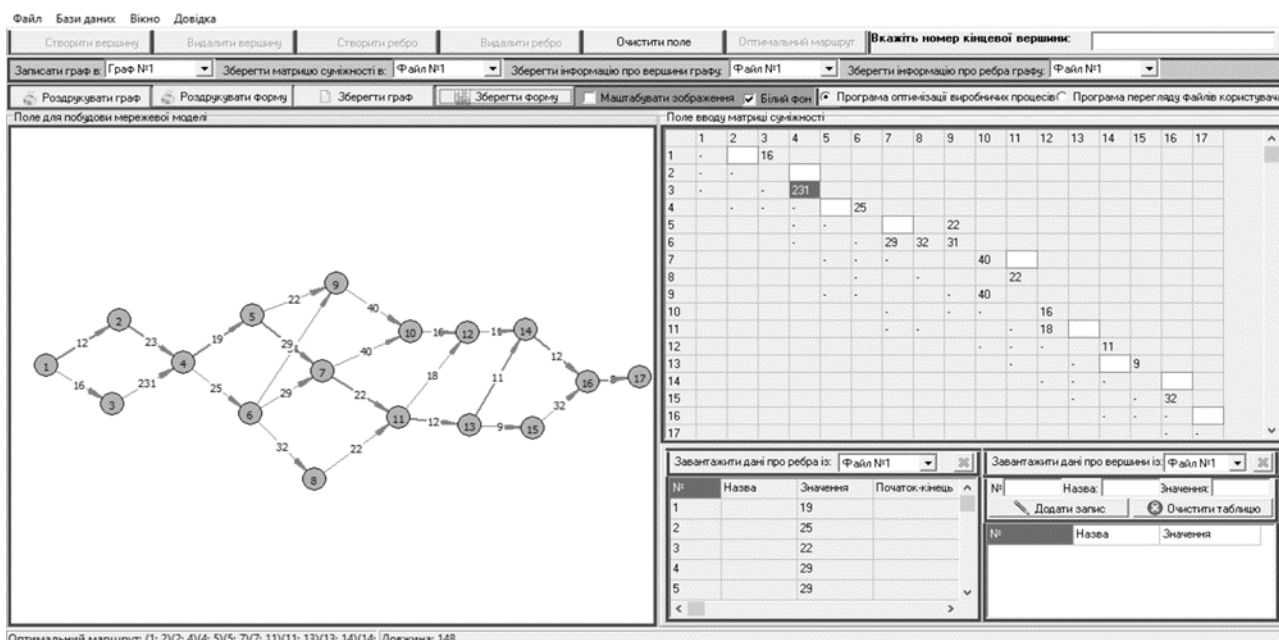


Рис. 2. Програмний комплекс для оптимізації параметрів експлуатації

Застосування розробленої СППР [21] (див. рис. 2) дозволяє реалізувати процес проектування. У якості об'єкту дослідження розглянуто шахту ім. «Героїв Космосу» ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Необхідно було передбачити заходи по мінімізації негативного впливу гідрогеологічних чинників. Було проаналізовано різні варіанти технологій та запропоновано застосовувати анкерне кріплення із застосуванні посиленої анкерно-породної конструкції [22].

Економічний ефект від застосування прийнятих рішень може бути розрахований для декількох випадків: отриманий за рахунок повторного використання штреку; за рахунок зниження простоїв за газовим фактором і скорочення часу на підготовчі операції, що дозволить збільшити обсяги видобутку та реалізувати більшу кількість продукції; за рахунок економії матеріалів.

Для перерахованих вище випадків здійснено розрахунок економічного ефекту. Економічний ефект від застосування прийнятих технологічних рішень, а також економії матеріалів складе від 9 до 12 млн грн (у залежності від методики розрахунків) на один штрек. Окрім цього, запропоновані рішення дозволяють отримати додатковий економічний ефект: за рахунок повторного використання штреку [23]; за рахунок зниження простоїв за газовим фактором і скорочення часу на підготовчі операції [24], що дозволить збільшити обсяги видобутку та реалізувати більшу кількість продукції; за рахунок економії матеріалів.

Також, варто відзначити, що резервом збільшення ефективності управління станом гірського масиву є оптимізація параметрів спорудження виробок. Це реалізується на основі вибору технології з найменшою собівартістю, трудомісткістю, часовими витратами.

Таким чином, в запропонованій роботі запропоновано комплексний підхід до вирішення проблеми проектування багатопараметричних процесів управління НДС масиву гірських порід.



**Висновки.** В процесі виконання дослідження створено новий підхід, щодо проектування процесів управління НДС масиву гірських порід. Для пошуку оптимального рішення було розроблено модель, яка передбачає представлення життєвого циклу кріплення у вигляді мережевої моделі, яка враховує альтернативні варіанти. 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.). Було встановлено, що на кожному етапі є свій керуючий параметр, який може бути оптимізований, при цьому інші параметри знаходяться на більш низькому ієрархічному рівні – це і є декомпозиційний підхід. Урахування впливу кожного етапу на загальну ефективність процесу та прийняття єдиного вірного рішення на кожній стадії технологічного процесу дозволяють прийняти оптимальне рішення. Запропонована система підтримки прийняття рішень дозволить впровадити результати у виробництво.

#### Перелік посилань

1. Bazaluk O, Petlovanyi M, Zubko S, Lozynskiy V. & Sai K. (2021). Instability Assessment of Hanging Wall Rocks during Underground Mining of Iron Ores. *Minerals*, 11(8):858. <https://doi.org/10.3390/min11080858>
2. Fomychov, V., Fomychova, L., Khorolskiy, A., Mamaikin, O., & Pochepov, V. (2020). Determining optimal border parameters to design a reused mine working. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(24), 3039-3049.
3. Bondarenko, V. I., Kovalevska, I. A., Podkopaiev, S. V., Sheka, I. V., & Tsvika, Y. S. (2022, June). Substantiating arched support made of composite materials (carbon fiber-reinforced plastic) for mine workings in coal mines. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1049, No. 1, p. 012026). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012026>
4. Шека, І. В., & Цівка, Є. С. (2021). Обґрунтування вуглепластику як інноваційного матеріалу для кріплення гірничих виробок вугільних шахт. *Збірник Наукових Праць НГУ*, 64, 112–121. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.112>
5. Bazaluk, O., Ashcheulova, O., Mamaikin, O., Khorolskiy, A., Lozynskiy, V., & Saik, P. (2022). Innovative Activities in the Sphere of Mining Process Management. *Frontiers in Environmental Science*, 304. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878977>
6. Petlovanyi M.V., Zubko S.A., Popovych V.V., & Sai K.S. 2020. Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Technologii*, 6, 142-150. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-133-6-142-150>
7. Petlovanyi, M., Malashkevych, D., Sai, K., Bulat, I., & Popovych, V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122-129. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>
8. Kosenko, A. V. (2021). Improvement of sub-level caving mining methods during high-grade iron ore mining. Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. *Naukovyi Visnyk*, (1), 19-25. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/019>
9. Khorolskiy, 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.

10. Griniov, V., Nazymko, V., Zakharova, L., & Diedich, I. (2017). Distant interaction of rock mass clusters around underground opening. *Mining of Mineral Deposits*, 11(2), 79-83. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.079>
11. Грін'юв, В. Г., & Хорольський, А. О. (2019). Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (21), 128–145.
12. Хорольський, А. О., & Грін'юв, В. Г. (2020). Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (22), 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>
13. Грін'юв, В.Г., Хорольський, А.О., & Виноградов, Ю.О. (2019). Технологічні аспекти спорудження виробок у складних гідрогеологічних умовах. *Геотехнічна механіка*, (149), 132-141. <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.132>
14. Szurgacz, D., & Brodny, J. (2020). Adapting the powered roof support to diverse mining and geological conditions. *Energies*, 13(2), 405. <https://doi.org/10.3390/en13020405>
15. Szurgacz, D., Borska, B., Zhironkin, S., Diederichs, R., & Spearing, A. J. (2022). Optimization of the Load Capacity System of Powered Roof Support: A Review. *Energies*, 15(16), 6061. <https://doi.org/10.3390/en15166061>
16. Khorolskyi, A., Mamaikin, O., Medianyuk, V., Lapko, V., & Sushkova, V. (2021). Development and implementation of technical and economic model of the potential of operation schedules of coal mines. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(18), 1890-1899.
17. Spanjol, J., Mühlmeier, S., & Tomczak, T. (2012). Strategic orientation and product innovation: Exploring a decompositional approach. *Journal of Product Innovation Management*, 29(6), 967-985. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2012.00975.x>
18. Shin, H. C., & Marsh, J. C. (2022). Identifying relative strength of methadone versus health and social services in comprehensive substance use disorder treatment using a variance decomposition approach. *Evaluation and Program Planning*, 92, 102060. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2022.102060>
19. Szeliski, R. (2022). *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Nature.
20. Arora, R. K. (2015). *Optimization: algorithms and applications*. CRC Press.
21. Hrinov, V., & Khorolskyi, A. (2018). Improving the process of coal extraction based on the parameter optimization of mining equipment. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00017). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017>
22. Krukovska, V., & Vynohradov, Y. (2019). Water stability influence of host rocks on the process of water filtration into mine working with frame and roof-bolting support. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 109, p. 00041). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900041>
23. Krukovskyi, O., Krukovska, V., Vynohradov, Y. (2017). Mathematical modeling of unsteady water filtration in anchored mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 11 (2), 21-27. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.021>
24. Vladyko, O., Kononenko, M., & Khomenko, O. (2012). Imitating modeling stability of mine workings. *Geomechanical processes during underground mining*, 147-150.

#### ABSTRACT

**Purpose.** To develop a new approach to the design of multi-parameter processes for controlling the stress-strain state of a rock mass based on the use of a decomposition approach and optimization algorithms.

**Methodology.** To solve the problem, a complex method was applied, which consists in formalizing alternative technological solutions for managing the stress-strain state of a rock mass by converting it into network models. Further application of optimization algorithms on network models and graphs makes it possible to choose the most optimal technology for the construction or operation of mine workings.

**Findings.** A methodological approach to the design of processes for managing the stress-strain state of a rock mass has been developed. For this, a decomposition approach was used as a decision-making tool, which made it possible to take into account the variety of parameters that affect the efficiency of the construction or operation of mine workings. After selecting decision-making tools, a criterion was proposed for evaluating the effectiveness of construction or operation of mine workings, taking into account the probabilistic reliability and costs of construction or operation. To design multi-parameter processes for controlling the stress-strain state, technological cycles for the construction and operation of mine workings support were studied using alternative technologies and materials, which made it possible to identify common stages and proceed to the formalization of the problem of finding the optimal technology. The formalization procedure provided for the presentation of alternative technologies and solutions in the form of a network model. Further application of optimization algorithms made it possible to determine the most optimal type of fastening from the standpoint of minimizing the optimization parameter.

**Originality.** An algorithmic procedure for the process of designing multi-parameter processes for controlling the stress-strain state of a rock mass based on the use of a decomposition approach has been developed and presented, which made it possible to take into account the diversity in nature and degree of influence of parameters, as well as to determine the most optimal methods for constructing or operating mine workings.

**Practical implications.** The criteria for the effectiveness of the process of construction or operation of mine workings are determined, which made it possible to proceed to the generalization of the technological stages of construction and operation of mine workings, regardless of the type of support. Based on the use of optimization algorithms on networks and graphs, a decision support system was created that allows automating the design process, as well as determining the most optimal technology for the construction and operation of mine workings, depending on a given optimization parameter.

**Keywords:** *rock mass, design, parameter, technology, operation, mine working, goaf, software.*