

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОТОЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІРНИЧИХ РОБІТ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ УКРАЇНИ

Анісімов О.О.¹, Баряцька Н.В.²

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро,
Anisimov.o.o@nmu.one

² ТОВ «Софтмайн», Київ, bariatskan@gmail.com

The authors consider the scheduling of open pit mining operations for iron ore deposits. The main attention is paid to the hierarchy of mining planning under variable ore quality and conditions. The scheduling algorithm from strategic to operational using advanced software Micromine Beyond Scheduler is considered. The conclusions provided relate to the improvement of planning of iron ore open pits in Ukraine, taking into account the geological structure of the bodies and their quality indicators.

IMPROVEMENT OF CURRENT SCHEDULING OF MINING OPERATIONS IN IRON ORE OPEN PITS OF UKRAINE

Anisimov O.O.¹, Bariatska N.V.²

Вступ. Основною частиною плану виробництва на кар'єрах, зокрема при відкритому видобуванні залізних руд, є план з видобутку корисної копалини (виробнича програма кар'єру), який визначає подальший розвиток гірничих виробок і вміщує у собі: об'єми видобутку гірничої маси, ведення бурових і підричних робіт, об'єми виймання і перевезень копалини та порід, обсяги відвальних робіт, роботи зі створення транспортних комунікацій в кар'єрі. В технічній частині план видобутку спирається на план гірничих робіт і гірничотехнічних показників, які дозволяють:

- Забезпечити запланований розмір річного видобутку корисної копалини;
- Правильно розподілити видобуток корисної копалини по ділянкам для забезпечення певної якості корисної копалини, що задається планом;
- Забезпечити підготовку розкритих і готових до виймання запасів корисної копалини на визначений період у відповідності з нормами які затверджені на комбінаті.

Аналіз попередніх досліджень. Будь-яке планування пов'язано з встановленням схем і послідовністю розробки родовища. В роботі (Анісімов, 2019) виконано аналіз схем керування фронтом гірничих робіт і визначені технологічні прийоми керування параметрами бортів кар'єрів і довжиною фронту видобувних робіт, які дозволяють сформулювати схему послідовності прийняття рішень при плануванні гірничих робіт на глибоких залізорудних кар'єрах. З урахуванням постійного поглиблення залізорудних кар'єрів велика увага приділяється можливостям відпрацювання глибоких кар'єрів схемами з крутонахиленими шарами. Запропоновані нові аналітичні залежності (Анісімов, 2020), дозволяють для планування напрямку поглиблення дна глибокого кар'єру за двома суміжними геологічними розрізами визначити середній кут напрямку відпрацювання крутоспадаючого родовища. Планування процесів гірничих робіт на залізорудних кар'єрах із застосуванням нової методики (Анісімов та ін., 2023), дозволяє попередньо визначити раціональні параметри крутонахилого шару на основі обраного варіанту комплексної механізації і схеми відпрацювання уступів.

Планування буровибухових робіт прискорюється при застосуванні програмного продукту Micromine, який дозволяє враховувати нерівність поверхні на горизонті за рахунок використання цифрової поверхні кар'єру (Анісімов та ін., 2023). За допомогою програмного комплексу можна спланувати та визначити оптимальні параметри ведення буровибухових робіт, отримати статистичні данні по блоку свердловинних зарядів визначеного для планування.

Питання щодо організації та планування відкритих гірничих робіт розглянуті в роботі (Собко та ін., 2020), де визначені підходи до визначення об'єктів планування і організації,

наведено типові задачі планування, моделі і методи планування (традиційні, математичні, геоінформаційні, системні).

Процес гірничого планування має певну ієрархію зазвичай включає 3 основні стадії, що мають різні періоди деталізації та горизонти планування (Hustrulid & al., 2006):

1. Планування в процесі концептуального дослідження – Conceptual (Preliminary) study. Концептуальне (або попереднє оціночне) дослідження виконується для підготовки інвестиційної пропозиції або прийняття інвестиційного рішення. На цьому етапі широко використовуються порівняльні методи визначення обсягу робіт та методів оцінки витрат. Капітальні та операційні витрати, як правило, є приблизними оцінками з використанням історичних даних. Метою такого дослідження є виявлення на ранній стадії аспектів, які можуть бути критично важливими для його життєздатності.

2. Планування в процесі техніко-економічного обґрунтування (проектування) – Feasibility study (Design). Стратегічне планування видобутку зазвичай виконується на увесь період експлуатації кар'єру (LOM – Life of Mine) і більш точно визначає виробничі потужності, технології, виробничі витрати, доходи та рентабельність. Таке планування часто поєднується з проектуванням і може бути ітераційним для оптимізації усіх критичних показників.

3. Планування виробництва у процесі гірничих робіт – Mining Operations. Оперативне (поточне) планування виконується для прийняття щоденних оперативних рішень про напрямки та параметри видобування задля досягнення щоденного виробничого плану та виконання відповідних ключових показників ефективності (Blom & al., 2018).

Загалом, сучасні кар'єри є досить капіталомісткими, а у випадку видобування низькосортних руд послідовність видобутку на кожному етапі набуває особливого значення (Elevli, 1988). Найефективніший план визначається як графік видобутку, який за існуючих економічних умов та технологічних обмежень, забезпечить видобувному підприємству максимальний прибуток.

Крім того, геологічна будова залізорудних родовищ України є досить складною. Продуктивні товщі представлені цілим рядом залізорудних горизонтів, які відрізняються мінеральним складом руд та вмістом корисного компоненту. Необхідність урахування великої кількості геологічних, гірничо-технічних, технологічних та інших параметрів робить процес планування надзвичайно складним і трудомістким. Особливо це стосується поточного оперативного планування.

Опис основного матеріалу. Сучасне гірничо-геологічне програмне забезпечення, таке як Micromine, використовується для усього циклу розвитку родовища від геологічної розвідки до гірничого проектування, планування і управління видобувним процесом (Bariatska, 2022). Зокрема, планувальник Micromine Beyond Scheduler надає широкий інструментарій для стратегічного і оперативного планування, а саме:

- гнучкі інструменти імпорту задач с призначенням атрибутів на основі прив'язки до категорії задач, а також автоматичне створення послідовності з опорних даних;
- наявні різні атрибути і критерії для різних типів задач, таких як буріння, буровибухові роботи, виймання корисної копалини та ін.;
- автоматичне або ручне налаштування залежностей задач для забезпечення вчасного виконання попередньо заданих задач;
- стратегічні плани можуть бути оптимізовані з обмеженням цільових показників, таких як продуктивність або вміст, для діапазонів по періодах;
- оперативні плани дозволяють призначати ресурси і календарі задачам для налаштування виробничих потужностей, ефективності, робочого часу, змін і т. ін.;
- інтерактивна діаграма Ганта з підтримкою перегляду, редагування, вибору, групування, сортування і фільтрації задач (рис. 1);
- інтерактивна 3D-візуалізація розробки у часі з використанням анімації послідовності задач;
- генератор звітів, що дозволяє налаштовувати і створювати різноманітні виробничі звіти;
- експорт каркасів планування та поверхонь відпрацювання для використання іншими модулями Micromine або програмними продуктами.

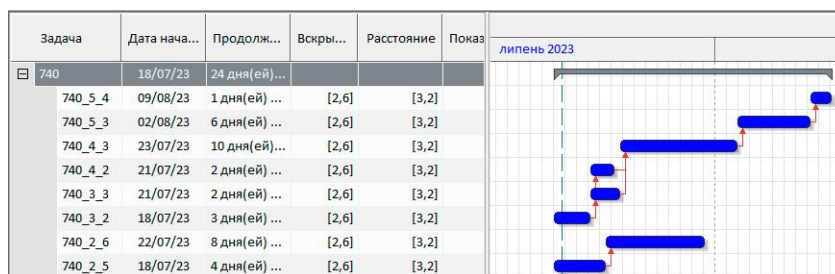


Рис. 1. Діаграма Ганта з таблицею атрибутів

Робочий процес календарного планування Micromine (рис. 2) оснований на використанні каркасів-солідів. Спочатку використовуються спеціальні інструменти для перетворення вихідного проекту кар'єру у тривимірні каркаси, що являють собою задачі з видобування. Потім задачі співвідносяться з блоковою моделлю і надалі імпортуються в планувальник Ганта для визначення послідовності і оптимізації плану.



Рис. 2. Алгоритм процесу планування відкритих гірничих робіт за допомогою Micromine Scheduler

Планувальник Micromine створює плани двох різних типів, стратегічні і оперативні. Стратегічний план надає можливості оптимізації, що використовується для визначення оптимального графіку видобування (рис. 3). Оперативний план дозволяє налаштувати календарі і ресурси (Bartlett, 2021).

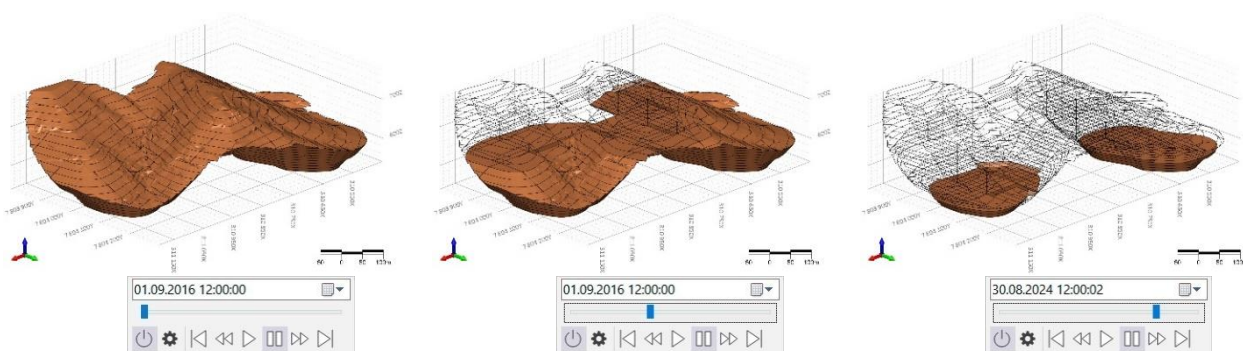


Рис. 3. Положення виймальних блоків родовища при стратегічному плануванні

Методологія полягає у використанні стратегічного плану для складання оптимізованого плану на увесь термін експлуатації кар'єру. Надалі це рішення може використовуватись як основа для середньострокового (або короткострокового) плану. Наприклад, рішення, що охоплює перші 5 років оптимізованого стратегічного плану, може бути повторно оптимізовано для створення оптимального середньострокового плану. Після завершення усіх оптимізацій оперативний план може використовуватись для підготовки короткострокового виробничого графіка.

Планування видобутку зазвичай охоплює підготовку кількох планів, кожен з яких має вищий рівень деталізації, ніж попередній.

Висновки. Для удосконалення планування залізородних родовищ України з урахуванням геологічного розміщення покладів з різними якісними показниками руди сучасне програмне забезпечення повинно:

- бути адаптоване під автоматичне або ручне налаштування задач;
- вміщувати стратегічні плани з оптимізацією цільових показників (продуктивність, якість корисної копалини та її вміст і час);
- мати легкий і зрозумілий інтерфейс, щоб вносити зміни в оперативні плани, в процеси ведення гірничих робіт з призначенням ресурсів, календарів з урахуванням виробничих потужностей, робочого часу, змін та ін.;
- інтерактивний графічний показник всіх операцій і їх послідовності з можливістю перегляду, редагування, вибору, групування, сортування і фільтрації задач по процесам гірничих робіт (у якості прикладу – діаграма Ганта);
- з урахуванням подальшого розвитку комп'ютерних технологій інтерактивну візуалізацію розробки (використання 3D, VR технологій);
- формування електронних звітів, що дозволяє обирати найбільш доцільний варіант розробки залізородного родовища.

Застосування сучасних програмних продуктів для планування гірничих робіт залізородних кар'єрів України за рахунок цифровізації виробничих процесів і порівняння різних варіантів розвитку гірничих робіт здатне підвищити швидкість та ефективність планування і прийняття оперативних рішень.

Список використаних джерел:

1. Анісімов О. (2019). Загальні методи керування фронтом гірничих робіт із розробкою бортів крутонахиленими шарами. Збірник наукових праць НГУ. № 58. С. 46-55.
2. Анісімов О. (2020). Методика визначення напрямку поглиблення дна кар'єру. Збірник наукових праць НГУ, № 62. С. 16-25.
3. Анісімов О. (2021). Формування технологічних схем при відпрацюванні крутонахилених шарів. Збірник наукових праць НГУ. № 64. С. 30-42.
4. Анісімов О., Черняєв О., Гуров І. (2023). Порівняння схем буріння і заряджання підричних свердловин з використанням сучасного програмного продукту Micromine. Всеукраїнський науковий збірник Наукові праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна, № 2 (30). С. 29-38.
5. Собко Б.Ю., Панченко В.В., Лотоус В.В., Вінівітін Д.В. (2020). Організація і планування відкритих гірничих робіт (системний підхід): навч. посіб. Дніпро: НТУ «ДП». 188 с.
6. Variatska, N. (2022). Micromine Tools for Geological and Economic Assessment of Mineral Projects 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. P. 1-5.
7. Bartlett, D., Bilki, F. (2021). Micromine Beyond – Mine Scheduling. Micromine Pty Ltd. 125 p.
8. Blom, M., Pearce, A.R., Stuckey, P.J. (2018). Short-Term Planning for Open Pit Mines: A Review. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. №33 (9).
9. Elevli, B. (1988). Open pit mine production scheduling. COLORADO SCHOOL OF MINES GOLDEN. 222 p.
10. Hustrulid, W.A., Kuchta, M., Martin, R.K. (2006). Open Pit Mine Planning & Design. 3rd Edition. Volume 1 – Fundamentals. Boca Raton, 995 p.