

УДК 622.271.003.13

Собко Б.Ю., д-р техн. наук, професор
(ДВНЗ «НГУ»)

Вінівітін Д.В., магістр
(ПрАТ «Полтавський ГЗК»)

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ГІРНИЧОТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ В ЗАЛІЗОРУДНОМУ КАР'ЄРІ

Собко Б.Е., д-р техн. наук, професор
(ГВУЗ «НГУ»)

Винивитин Д.В., магістр
(ЧАО «Полтавский ГОК»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНЫМИ РАБОТАМИ В ЖЕЛЕЗОРУДНОМ КАРЬЕРЕ

Sobko B.Ye., D. Sc. (Tech.), Professor
(SHEI «NMU»)

Vinivitin D.V., M.S (Tech.)
(PJSC «Poltavsky MPP»)

DEVELOPMENT METHODOLOGY OF OPERATIONAL PLANNING AND MANAGEMENT FOR MINING AND HAULAGE IN THE IRON-ORE PIT

Анотація. В роботі розроблено методологію оперативного планування та управління роботою залізорудного кар'єру, що включає: геометричне моделювання робочої зони кар'єру, затвердження технологічної схеми розробки уступів та визначення послідовності переїзду екскаваторів між визначеними видобувними та розкривними блоками; прогнозує моделювання варіантів послідовності відробки окремих блоків; підрахунок об'ємно-якісних показників гірничої маси та нормативних показників технологічного обладнання; формування математичної моделі оптимального багатокритеріального планування та застосування відповідного алгоритму її розв'язання; графічне наочне відображення сформованого плану гірничих робіт; формування графіку роботи технологічного обладнання. Запропонована гнучка структура оперативного планування на базі геоінформаційного моделювання, що дозволяє зменшити середньозважену відстань транспортування гірничої маси в кар'єрі, підвищити загальну продуктивність кар'єру за гірничою масою та підвищити продуктивність гірничотранспортного обладнання.

Ключові слова: залізорудний кар'єр, гірнича маса, оперативне планування, управління гірничотранспортною системою.

Вступ. Сучасні ринкові вимоги ефективного функціонування залізорудного кар'єру можливі лише при ретельному формуванні довгострокових планів і чіткому виконанні складених на їх основі оперативних планів та реалізації оперативного управління.

Виконання цих вимог дозволяє підвищити ефективність використання надр нашої країни та позбутись неконтрольованих втрат на виробництві, оскільки неефективні планові показники роботи кар'єрів та оперативні керуючі дії можуть призводити до недосяжності результатів планування вищих рівнів. Тому створення ефективної методології оперативного планування та управління гірничотransпортними роботами на залізрудних кар'єрах є своєчасною та актуальною темою наукових досліджень.

Більшість українських залізрудних кар'єрів великої потужності вимушені працювати в умовах інтенсифікації гірничих робіт, постійного заглиблення та ускладнення гірничо-геологічних умов. Із збільшенням глибини кар'єрів спостерігається збільшення у 1,3-1,7 рази об'єму перевезень по відношенню до об'ємів відвантаженої гірничої маси [1]. Як зазначається у [2], об'єми перевезень зростають на 32-35% із зниженням гірничих робіт на кожні 50 м. Так, наприклад, кар'єр Полтавського ГЗКа, що розробляє запаси Горишне-Плавинського та Лавриковського родовищ залізистих кварцитів, здійснює гірничі роботи на 28 горизонтах (найглибший розкритий горизонт мінус 307 м). Довжина кар'єру по верху складає 6,0 км, ширина у південній частині 2 км, у північній – 1,1 км. Глибина кар'єру у південній частині – 370 м, у північній – 150 м. Очевидно, що з позицій оперативного планування і управління гірничотransпортними роботами такі кар'єри представляють собою складні динамічні гірничотransпортні системи [3]. Звідси витікає необхідність покращення методологічних засад оперативного планування та управління гірничотransпортними процесами для вирішення комплексної задачі оперативного узгодження планових об'ємів виймання гірських порід, показників транспортних робіт.

Методологія. У загальному вигляді множину функціональних підсистем задачі оперативного планування та управління можна представити у вигляді схеми (рис. 1). Виходячи із загальної схеми проведеної декомпозиції задач оперативного планування та управління, що наведена на рис. 1, розподіляються функції між функціональними підрозділами управління гірничотransпортного комплексу (ГТК) та програмно-методичними засобами.

Враховуючи складний характер протікання гірничотransпортних процесів на кар'єрі, часто алгоритми розв'язання виробничих завдань носять емпіричний характер, тому участь технологів стає визначальною.

На сьогодні стало можливим застосування для оперативного планування та управління гірничотransпортними процесами геоінформаційних систем (ГІС). Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) обладнані можливостями сучасних тривимірних гірничо-геометричних побудов та можуть використовувати достатньо великий арсенал оптимізаційних розрахунків [4].

Для задач оперативного планування та управління гірничотransпортними роботами сфери застосування ГІС полягають у розв'язанні наступних базових задач:

1. Задачі обліково-інвентаризаційного типу (підрахунки запасів корисних копалин та розкриття, управління розподіленою виробничою інфраструктурою).
2. Задачі планування, вибору маршрутів та управління перевезеннями.
3. Моделювання процесів гірничих робіт та методи аналізу даних.

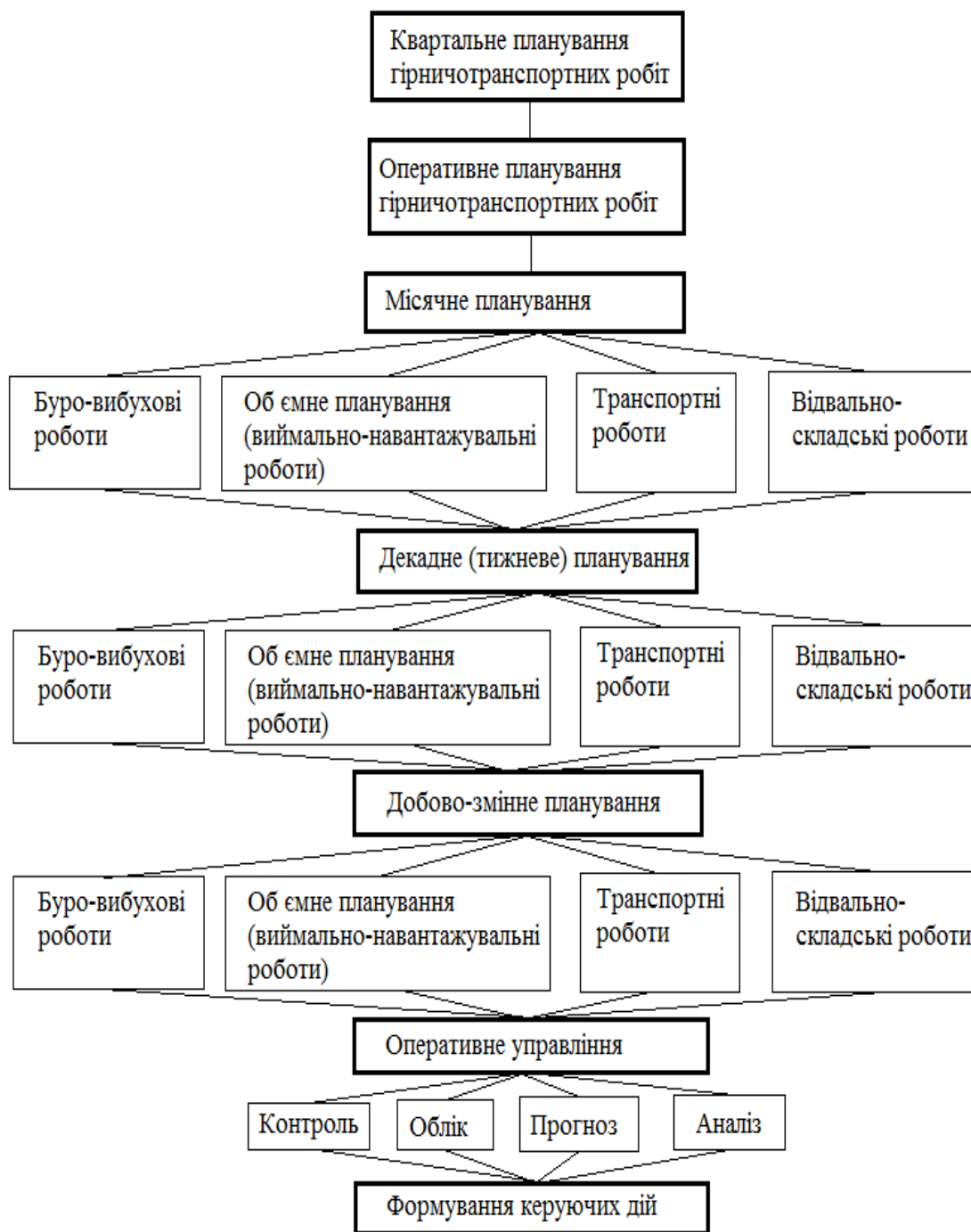


Рисунок 1 - Загальна схема задач оперативного планування та управління

Таким чином, в роботі пропонується наступна структура оперативного планування та управління роботою залізородного кар'єру та відповідний алгоритм (рис. 2):

1. Геометричне моделювання робочої зони кар'єру (місячна програма гірничих робіт), затвердження технологічної схеми розробки уступів та визначення послідовності переїзду екскаваторів між визначеними видобувними та розкривними блоками.

2. Прогнозуюче моделювання варіантів послідовності відробки окремих блоків (поділ блоків на елементарні ділянки, визначення швидкості посування відробки вибою та бажаного його положення на певну дату).

3. Підрахунок об'ємно-якісних показників гірничої маси та нормативних показників технологічного обладнання, (побудова технологічного графіку робіт на уступах).

4. Формування математичної моделі оптимального багатокритеріального планування та застосування відповідного алгоритму її розв'язання; графічне наочне відображення сформованого плану гірничих робіт.

5. Аналіз спеціалістами результатів оптимізаційних розрахунків, корекція (за необхідності) структури моделі

6. Формування графіку роботи технологічного обладнання, в тому числі проведення імітаційного моделювання із визначенням маршрутів та режимів руху транспортних одиниць.

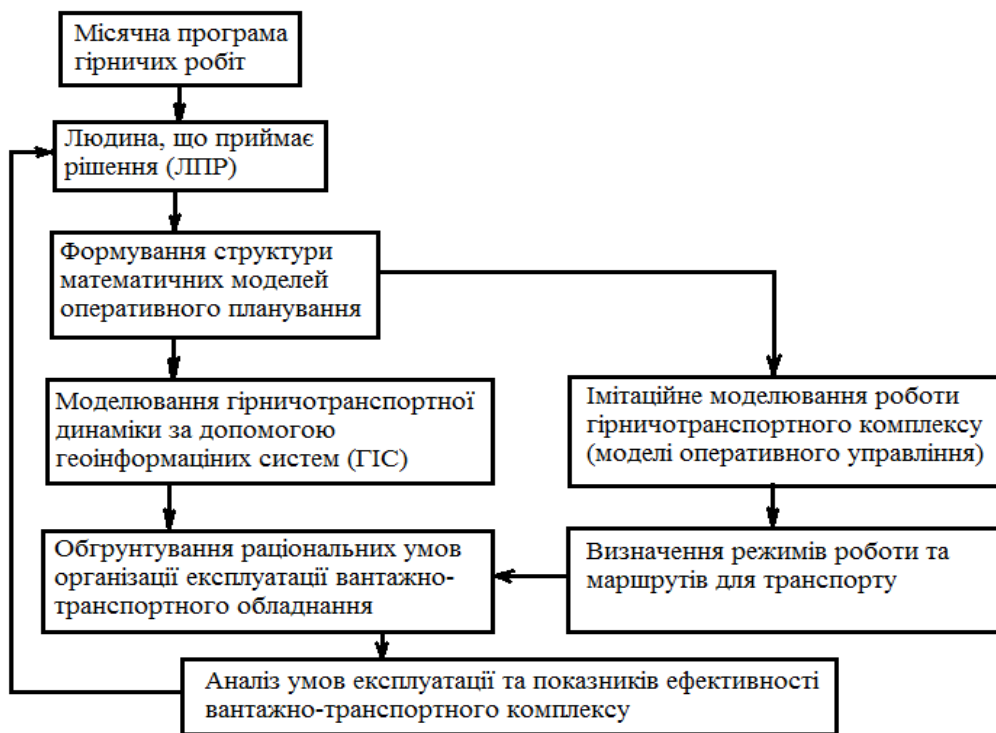


Рисунок 2 - Алгоритм оперативного планування та управління роботою залізородного кар'єру

Теоретична частина. Неодмінною умовою сучасного оперативного планування є координатна прив'язка об'ємів гірничої маси, яку потрібно вийняти, відвантажити, транспортувати для подальшої переробки. Тому запропоноване оперативне планування відбувається за допомогою комп'ютерних засобів, що дозволяють маніпулювати графічними та семантичними даними, зокрема за допомогою ГІС [5]. Для моделювання поверхонь і розв'язання просторових задач в ГІС технологіях пропонується

використання триангуляційних моделей (TIN-моделі, Triangulation Irregular Network) [6].

Обчислювальна геометрія використовує триангуляцію в якості базового алгоритму перетворення набору точок і ліній у просторові (каркасні) фігури. Наприклад, при побудові об'ємного зображення екскаваторного вибою відбираються деякі тематичні шари даних (фактичні та заплановані положення верхніх та нижніх бровок), на основі яких отримуємо певний новий тематичний шар (рис. 3). На основі проведених побудов отримуємо тривимірне зображення місячної програми гірничих робіт (рис. 4). При інтерактивній роботі з просторовими зображеннями ГІС з'являється можливість отримувати нову інформацію, яка в явному вигляді не присутня на паперових носіях.

Врахувавши просторову модель геологічних даних можна отримати тривимірне геолого-маркшейдерське зображення екскаваторного вибою та моделювати західки для його послідовної відробки (рис. 5).

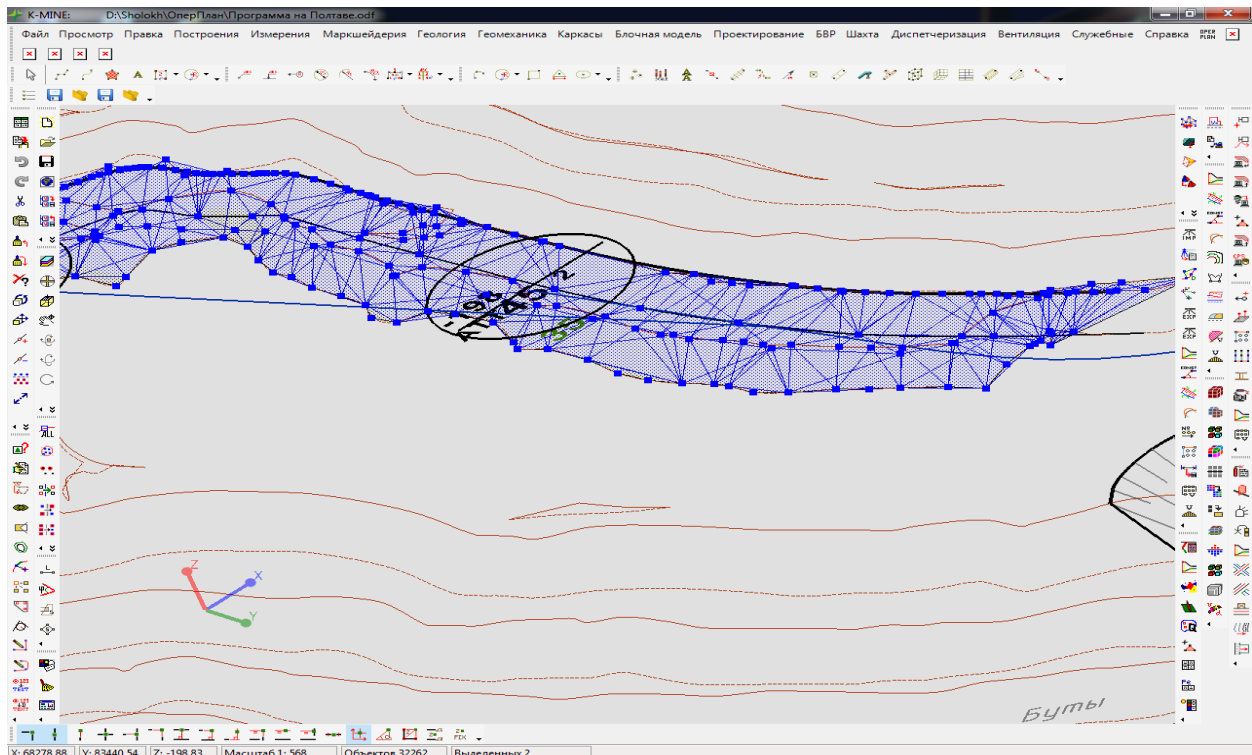


Рисунок 3 - Триангуляційна модель екскаваторного вибою

Експериментальна частина. За допомогою геодезичних приладів та цифрових файлів формується цифрова модель родовища і кар'єру, на якій розміщуються об'єкти із певними властивостями. Цей єдиний геолого-маркшейдерський масив служить основою просторових даних, на якій проводиться тривимірне моделювання процесів оперативного планування. Згідно декомпозиції рівнів планування початковими даними для оперативного планування служить, наприклад, місячна програма гірничих робіт кар'єру. Використовуючи алгоритми проектування та комбінуючи їх, формується послідовність відробки екскаваторного вибою протягом певного періоду часу.

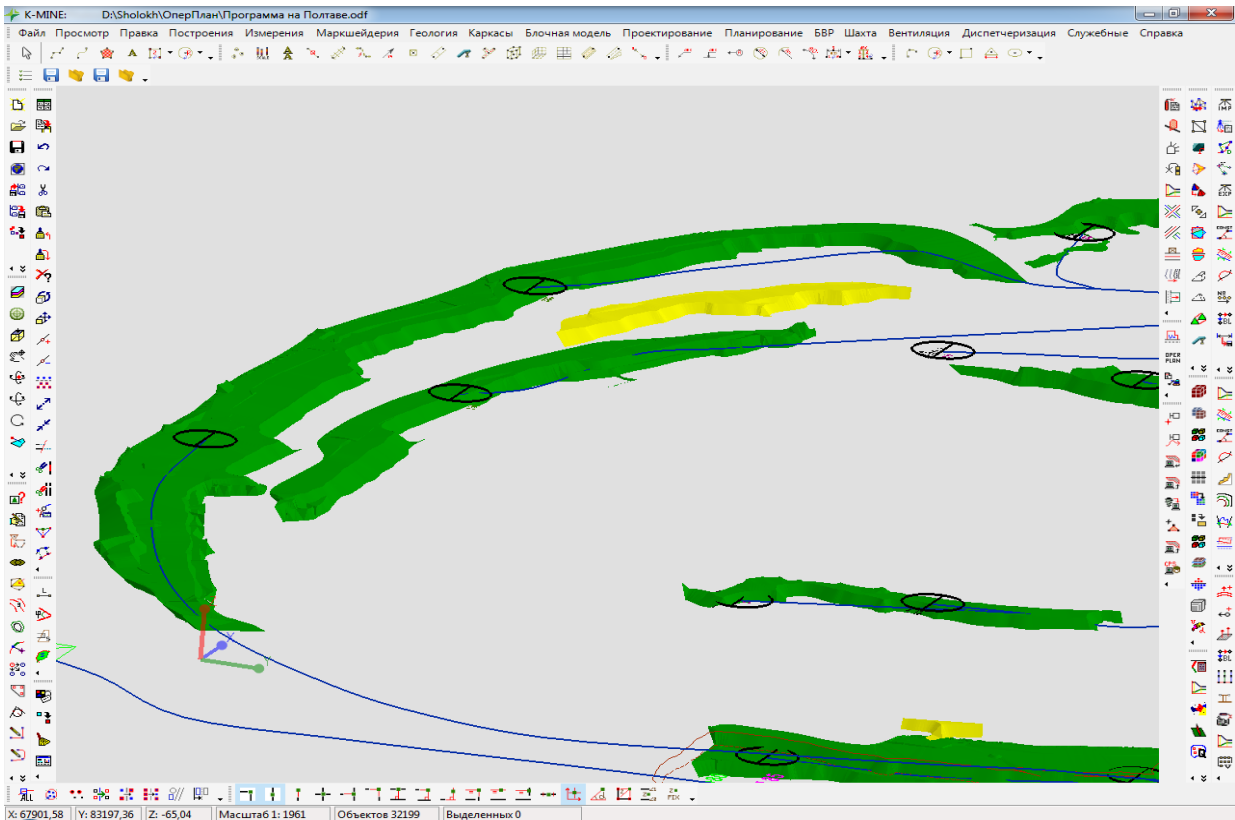


Рисунок 4 - Тривимірне зображення місячної програми гірничих робіт

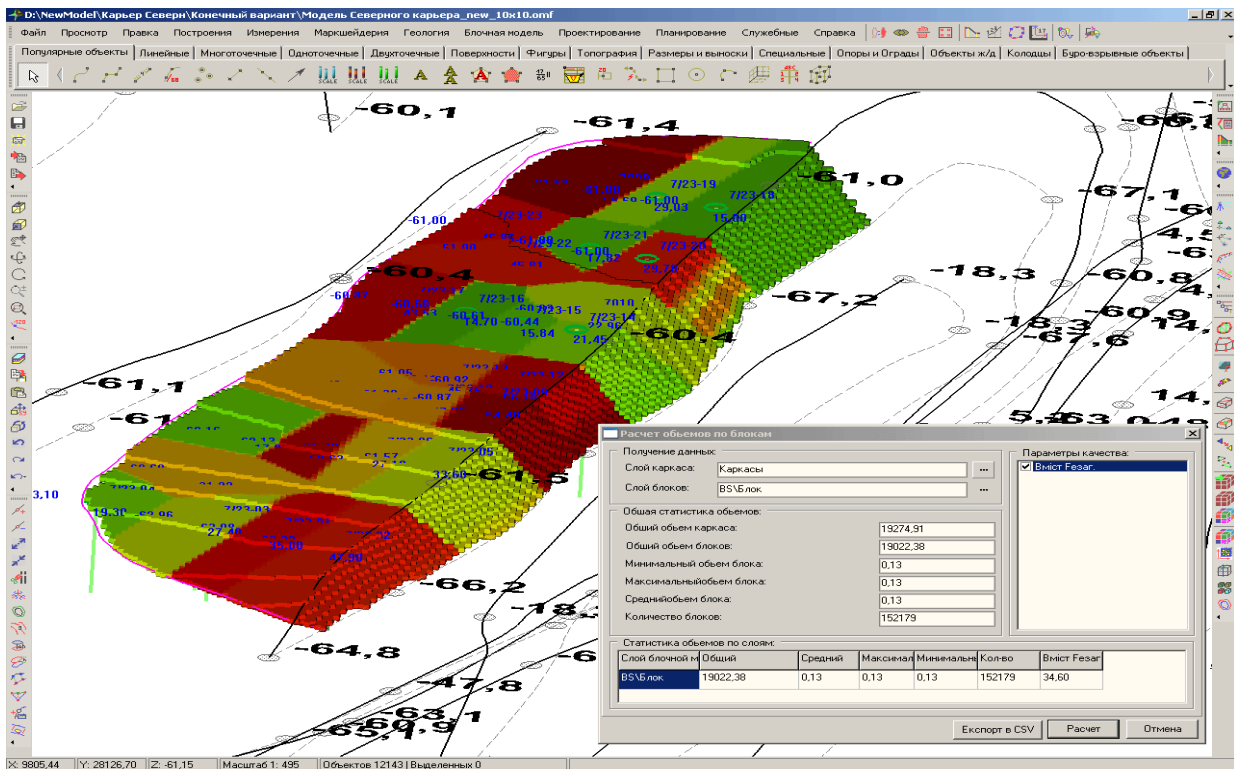


Рисунок 5 - Тривимірне геолого-маркшейдерське зображення екскаваторного вибою із врахуванням запасів гірничої маси у виймальному блоці

Запропоноване гірничо-геометричне моделювання дозволяє уточнити динаміку зміни середньозваженої відстані транспортування гірничої маси на кар'єрі протягом певного періоду часу. Адже найчастіше відстані транспортування від екскаватору до пункту розвантаження розраховуються при плануванні усереднено, тобто обчислюють відстань від пункту розвантаження до середини екскаваторного блоку.

Внаслідок таких неточностей фактичні значення відстаней транспортування відрізняються від тих, що використовуються при оперативному плануванні. Для умов кар'єру Полтавського ГЗК така ситуація проілюстрована на рис. 6, де наведені середньозважені відстані, розраховані без урахування посування екскаватору при розробці вибою (червоний графік), та з урахуванням (синій графік).

Таким чином, результатом запропонованого моделювання оперативного планування гірничих робіт є наявність положення фронтів уступів, ділянок відробки та розстановки обладнання на виймальних блоках. Тобто визначається, які об'єми якої гірничої маси будуть відвантажені екскаваторами для транспортування. Подальші етапи планування повинні визначити порядок переміщення гірничої маси для її подальшої переробки (руди) або складування (породи розкриву) із врахуванням термінів та об'ємів переміщення гірничої маси.

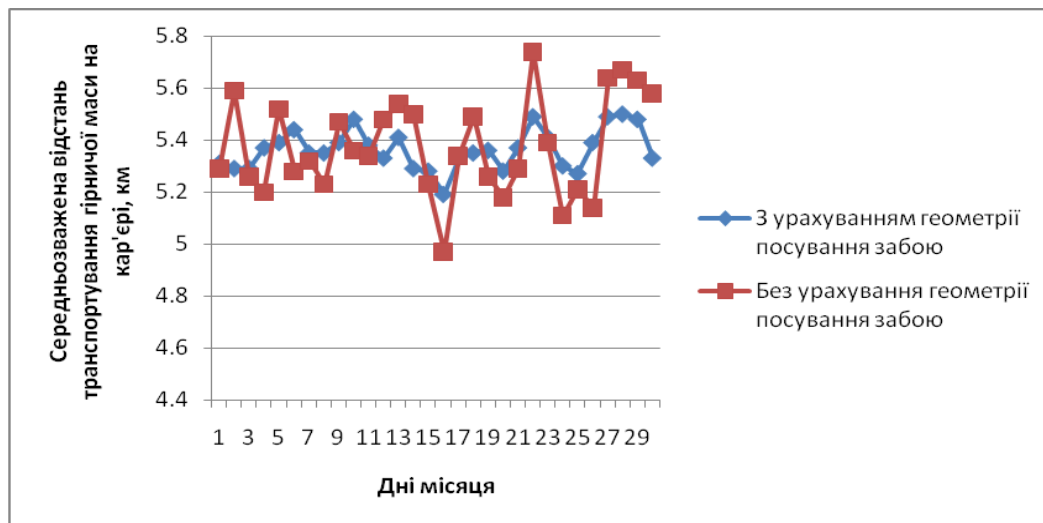


Рисунок 6 - Середньозважені відстані транспортування гірничої маси

Результати та їх обговорення. Впровадження запропонованої методології оперативного планування та управління сприяє отриманню економічного ефекту, що досягається у сферах виробництва та управління залізорудним кар'єром. Методологія оперативного планування та управління дозволяє підвищити продуктивність праці працівників планових та технічних відділів за рахунок багатоваріантних і багатокритеріальних гірничо-геометричних оптимізаційних розрахунків видобутку гірничої маси при плануванні гірничотранспортних робіт.

Результати, отримані у сфері гірничого виробництва, визначаються наступними факторами:

1. Зменшення коливань вмісту корисного компонента у руді, що надходить на переробку.

Застосування розробленої методології призведе до рівномірної підготовки до виймання запасів руди усіх сортів, дотримання їхніх співвідношень у шихті, що надходить на секції рудозбагачувальної фабрики при змінному плануванні гірничотранспортних робіт та оперативно-диспетчерському управлінні екскаваторно-автомобільним комплексом.

На основі аналізу даних про якість руди на Полтавському ГЗК, що переробляється, за кожну добу та про вилучення металу за період серпень 2016 – серпень 2017 рр. визначено, що 7,5% діб від загальної їхньої кількості перероблялась руда із вмістом корисного компоненту нижче планового. При застосуванні розробленої методології покращуються показники усереднення руди та зменшується до 3,2% кількість діб, коли переробляється руда із вмістом, меншим за планове, тобто з'являється додаткова кількість руди ΔQ із вмістом корисного компоненту, що дорівнює плановому. Тому комбінатом буде вироблено додатково за рік (при плановій продуктивності по руді у 21,6 млн т/рік та збільшенні виходу концентрату на 0,40%) $\Delta Q_k = (7,5\% - 3,2\%) \cdot 21,6 \cdot 0,41\% = 38,08$ тис. т концентрату або $\Delta Q_{ок} = 38,08 / 1,115 = 34,1$ тис. т окатків. Відповідно, економічний ефект від збільшення випуску продукції складе:

$$E_n = \Delta Q_{ок} \cdot C_{M_{ок}} = 34,1 \cdot 260 = 8,866 \text{ млн грн,}$$

де $C_{M_{ок}}$ – маржинальний дохід від продажу 1 т окатків, грн.

2. Підвищення продуктивності гірничотранспортного обладнання.

Оптимізація параметрів екскаваторних вибоїв, оптимальний характер прийнятих рішень при визначенні маршрутів та адрес навантаження і розвантаження транспорту призводять до збільшення продуктивності екскаваторного обладнання на 5,1%. Зміна об'єму виробництва забезпечить економію умовно-постійної частини витрат в обсязі:

$$E_{ne} = q \cdot Q_{г.м.} \cdot C_{yn}, \text{ млн грн,}$$

де q – зростання продуктивності обладнання після впровадження методології, %; $Q_{г.м.}$ – продуктивність кар'єру по гірничій масі до впровадження методології, млн.м³ (23,3 млн м³ за фактом 2016 р); C_{yn} – умовно-постійна частина витрат на одиницю гірничої маси, грн.

$$E_{ne} = 5,1\% \cdot 23,3 \cdot C_{yn} = 5,1\% \cdot 23,3 \cdot 63,38 = 75,32 \text{ млн грн.}$$

3. Оптимізація роботи кар'єрного автотранспорту.

Впровадження методології оперативного планування та управління дозволило підвищити раціональність планування автотранспорту, знизити

відстань транспортування гірничої маси на величину $\Delta l=154$ м. Скорочення витрат на видобуток складе:

$$E_m = A_{г.м.} \cdot \Delta l \cdot C_{м.н.}, \text{ млн грн,}$$

де $A_{г.м.}$ – річний вантажообіг гірничої маси, 59,49 т·км; $C_{м.н.}$ – змінна частина витрат на 1 т·км роботи транспорту, 1,3 грн.

Отже, $E_m = 59,49 \cdot 0,154 \cdot C_{м.н.} = 35,165 \cdot 0,154 \cdot 1,3 = 11,91$ млн грн.

4. Зменшення витрат на ремонт, запасні частини.

Удосконалення оперативно-диспетчерського управління кар'єрним автотранспортом за рахунок збільшення коефіцієнту його використання дозволяє зменшити витрати на ремонт транспорту, витрати на запасні частини та вивести з експлуатації додаткову кількість автотранспорту. Економія за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування автомобілів:

$$E_a = N_{а.с.} \cdot \Delta TO \cdot C_{то}, \text{ млн грн,}$$

де $N_{а.с.}$ – середня кількість автосамоскидів на виході при плановій річній продуктивності 57 од; $\Delta TO = 7\%$ – відсоток зниження кількості автосамоскидів при підвищенні K_B ; $C_{то}$ – річні витрати на технічне обслуговування автомобілів, грн. Тоді:

$$E_a = 57 \cdot 7\% \cdot 4,1 = 16,36 \text{ млн грн.}$$

Таким чином, загальний економічний ефект від впровадження методології оперативного планування та управління складе:

$$E = 8,866 + 75,32 + 11,91 + 16,36 = 112,456 \text{ млн грн/рік.}$$

Висновки.

Проведені дослідження дозволили запропонувати функціональну структуру системи оперативного планування гірничих робіт із використанням геоінформаційних систем. Доведено, що розроблена таким чином склад та структура функціональної частини системи оперативного планування за рахунок детального аналізу транспортних систем, візуалізації гірничої ситуації на кар'єрі, об'ємного моделювання посуювання вибоїв за допомогою ПС підвищить якість оперативного планування. Встановлено, що структура системи оперативного управління гірничотранспортних робіт повинна складатись із моделі маршрутизації автосамоскидів, моделі змінного оперативного планування, моделі формування автотранспортного потоку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дриженко, А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус – Полтава: Полтавський літератор, 2009.– 452 с.

2. Пахомов, В.И. Эффективность рациональных режимов эксплуатации автосамосвалов при разработке глубоких карьеров / В.И. Пахомов, С.А. Жуков, В.С. Гирин В.С. - Кривой Рог: Мінерал, 2008. - 146 с.

3. Панченко, В.В. Актуальность развития методологии проектирования и планирования открытой разработки месторождений / В.В. Панченко, А.В. Горпинич, А.В. Романенко // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників – 2013”. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, 2013.

4. Автоматизована система управління гірничими роботами на базі ГІС К-Mine / В.М. Назаренко, М.В. Назаренко, С.А. Хоменко, Н.В. Назаренко // Геоінформатика. – 2008. – №3. – С. 48-55.

5. Коробко, В.Н. Текущие задачи горной информатики на карьерах Украины / В.Н. Коробко, В.Ф. Бызов // Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле»: Доклады международной практической конференции. – Днепропетровск, 16-17 мая 2000 г. – С.14-19.

6. Фабен, Ж.С. Динамічна система управління змішуванням руд в кар’єрі на основі ГІС / GPS / GPRS [J] / Ж.С. Фабен, Г. Кингхуа // Рудний кар’єр. – 2009. – 6. - 047.

REFERENCES

1. Drizhenko, A.Yu., Kozenko, G.V. and Rykus, A.A. (2009), *Otkrytaya razrabotka zheleznykh rud Ukrainy* [Open-Cast Development of Iron Ore in Ukraine], Poltavsky literator, Poltava, UA.

2. Pakhomov, V.I., Zhukov, S.A. and Girin, V.S. (2008), *Effektivnost ratsionalnykh rezhimov ekspluatatsii avtosamosvalov pri razgruzke glubokikh karyerov* [Efficiency of rational modes dump trucks exploitation in the development of deep pits], Mineral, Krivoy Rog, UA.

3. Panchenko, V.V., Gorpnich, A.V. and Romanenko, A.V. (2013) «Urgency development of the methodology design and planning surface mining deposits», *International conference "Mining Forum 2013"*, NMU, Dnepropetrovsk, UA.

4. Nazarenko, V.M., Nazarenko, MV, Khomenko, S.A. and Nazarenko, N.V (2008) «Automated mining system management system based on GIS K-Mine», *Geoinformatics*, no. 3, pp. 48-55.

5. Korobko, V.N. and Byzov, V.F (2000) «The current tasks of pit mining informatics in Ukraine», *Problemy i perspektivy ispolzovaniya geoinformatsionnykh tekhnologiy v gornom dele: Doklady Mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii* [Problems and Perspectives of Using Geoinformation Technologies in Mining: Reports of the International Practical Conference], Dnepropetrovsk, UA, 16-17 of May, pp.14-19.

6. Faben, J. S. and Qinghua, G. (2009). «Dynamic Management System of the Ore Blending in Open-pit Mine Based on GIS/GPS/GPRS [J]», *Metal Mine*, 6, 047.

Про авторів

Собко Борис Юхимович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відкритих гірничих робіт Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпро, Україна, sobko.boris.nmu@gmail.com

Вінівітін Дмитро Вікторович, магістр, заступник начальника технічного відділу ПрАТ «Полтавський ГЗК», Горішні Плавні, Україна, Dmitriy.Vinivitin@mine.ferrexpo.com

About the authors

Sobko Boris Yukhymovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of the Department of Surface Mining < State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI «NMU»), Dnipro, Ukraine, sobko.boris.nmu@gmail.com

Vinivitin Dmytro Viktorovich, Master of Science, Deputy Head of the Technical Department, Poltava MPP, Horishni Plavni, Ukraine, Dmitriy.Vinivitin@mine.ferrexpo.com

Аннотация. В работе разработана методология оперативного планирования и управления работой железорудного карьера, включающая: геометрическое моделирование рабочей зоны карьера, утверждения технологической схемы разработки уступов и определения последовательности переезда экскаваторов между определенными добывающими и вскрышными блоками; прогнозирующее моделирование вариантов последовательности отработки отдельных блоков; подсчет объемно-качественных показателей горной массы и нормативных показателей технологического оборудования; формирование математической модели оптимального многокритериального планирования и применения соответствующего алгоритма ее решения; графическое наглядное отображение

сформированного плана горных работ; формирование графика работы технологического оборудования. Предложенная гибкая структура оперативного планирования на базе геоинформационного моделирования позволяет уменьшить средневзвешенное расстояние транспортировки горной массы в карьере, повысить общую производительность карьера по горной массе и повысить производительность горнотранспортного оборудования.

Ключевые слова: железорудный карьер, горная масса, оперативное планирование, управление горнотранспортной системой.

Abstract. The methodology of operational planning and management of the iron-ore pit has been developed, including: geometric modeling of the pit work area, approval of the technological scheme for the development of benches and determination of the excavators moving sequence between certain mining and overburden blocks; predicting the modeling variants of the development of separate blocks sequence; calculation of volume-quality parameters rock mass and normative indicators of technological equipment; the formation of a mathematical model for optimal multi-criteria planning and the application of an appropriate algorithm for its solution; graphical visualization of the formed plan of mining operations; formation of a schedule for the operation of technological equipment. The proposed flexible structure of operational planning based on geo-information modeling makes it possible to reduce the weighted average distance of rock mass haulage in the pit, to increase the overall productivity of the pit by the rock mass and to increase the productivity of the mining equipment.

Key words: iron-ore quarry, rock mass, operational planning, mining haulage system management.

Статья поступила в редакцию 7.08.2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук М.С. Четвериком