

© Д.В.Вінівітін¹, М.В.Назаренко², С.М.Шолох², В.В.Панченко³

¹ ПрАТ “Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат”, м. Горішні Плавні, Україна

² Група компаній КАІ, м. Кривий Ріг, Україна

³ Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”, м. Дніпро, Україна

РОЗВИТОК ДИНАМІЧНОГО ПІДХОДУ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ГІРНИЧО-ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ В ЗАЛІЗОРУДНОМУ КАР’ЄРІ

© D. Vinivitin¹, M. Nazarenko², S. Sholokh², V. Panchenko³

¹ Ferrexpo Poltava Mining, Horishni Plavni, Ukraine

² Group of companies KAI, Kryvyi Rih, Ukraine

³ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DEVELOPMENT OF A DYNAMIC APPROACH TO SOLVING THE PROBLEMS OF OPERATIONAL PLANNING OF MINING AND TRANSPORT WORK IN THE IRON ORE SURFACE MINE

Мета роботи - підвищення ефективності та надійності методичного забезпечення місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт в залізорудному кар’єрі.

Методика виконання. Аналіз та структуризація множини можливих послідовностей відпрацювання місячних планових блоків. Обґрунтування критеріальних оцінок структурованих підгруп послідовностей відпрацювання місячних планових блоків. Застосування методу гілок і границь для аналізу, відсіву недоцільних варіантів послідовностей та формування множини їх раціональних варіантів. Рішення типової задачі місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт залізорудного кар’єру. Порівняльний аналіз ефективності і надійності двох підходів: вирішення тільки типової задачі місячно-добового планування та формування області раціональних послідовностей і рішення типової задачі на сформованій області.

Результати. Запропоновано правила аналізу та структуризації множини можливих послідовностей відпрацювання місячних планових блоків. Обґрунтовані критеріальні оцінки раціональності варіантів можливих послідовностей. На основі методу гілок і границь створена методика визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця, на множині яких повинна вирішуватись типова задача місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт.

Наукова новизна. Отримав подальший розвиток динамічний підхід до вирішення задач оперативного планування гірничо-транспортних робіт в залізорудному кар’єрі, що був реалізований методикою визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця.

Практична значимість полягає у загальній методиці місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт залізорудного, що включає створену методикою визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця та методикою рішення типової задачі місячно-добового планування. Порівняльний аналіз результатів місячно-добового планування по реальним виробничим даним за 33 місячними програмами гірничих робіт без застосування створеної методики і з нею показав зменшення коливань об’ємних та якісних показників в добових об’ємах доставки руди на перевантажувальні пункти. До того

ж на 8-12% зменшилися випадки несумісності вихідних даних, що свідчить про підвищення надійності програмного забезпечення.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи, залізорудний кар'єр, гірничо-транспортні роботи, оперативне планування.

Аналіз стану науково-практичних розробок. В практиці відкритої розробки залізорудних родовищ в більшості випадків оперативне планування виконується за результатами місячного планування по рівням: декадне, добове, змінне. Схема декомпозиції може бути і більш коротка, без декадного планування.

Типовими математичними моделями планування, як правило, є математичні моделі лінійного планування з характерними обмеженнями планових завдань по вибоєм можливою продуктивністю екскаваторів, планових об'ємів доставки гірничої маси по перевантажувальним пунктам – їх пропускнуою спроможністю і середніх якісних показників в доставлених за плановий період об'ємів руди – технічними умовами дробильно-збагачувального комплексу.

Такий підхід забезпечує задовільні результати у випадку, коли кількість заданих місячним планом блоків до відпрацювання дорівнює кількості екскаваторів і об'єм кожного блоку дорівнює продуктивності встановленого на ньому екскаватора. Але такі випадки трапляються рідко.

В більшості випадків кількість блоків більше кількості екскаваторів. В таких ситуаціях перед вирішенням задачі оперативного планування гірничо-транспортних робіт необхідно встановити доцільну послідовність відпрацювання блоків. Така вимога є проявом динамічності задачі оперативного планування гірничо-транспортних робіт.

Наразі в практиці послідовність відпрацювання блоків попередньо не оптимізується з причини відсутності методичного забезпечення. Тому по мірі необхідності приймається емпіричне рішення щодо перегону екскаватору, наприклад до найближчого блоку. Такі рішення створюють передумови до збільшення коливань об'ємно-якісних показників, наприклад, по добам в результатах оперативного планування гірничо-транспортних робіт або, взагалі, призводять до несумісності вихідних даних.

Мета роботи та постановка задачі. Метою даної роботи є підвищення ефективності та надійності методичного забезпечення місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт в залізорудному кар'єрі.

Для досягнення вказаної мети в роботі вирішувалась *задача* створення методики визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця, на множині яких буде вирішуватися типова задача добового планування гірничо-транспортних робіт.

Викладення основного матеріалу та отриманих наукових результатів.

Як вказувалось вище, згідно з місячним планом більшість екскаваторів протягом наступного місяця можуть працювати відразу на декількох блоках, як на рудних, так і на блоках з розкривними породами. Відповідно, є декілька комбінацій розстановок екскаваторів. Розглянемо приклад типової виробничої ситуації, взятої безпосередньо з вииробництва. Екскаватор №44 з початку місяця (рис.

1) працюватиме на блоці гор. -78 м, відробляючи блок із рудою різновиду 3 загальним об'ємом 25 тис. м³. Після чого екскаватор повинен відробити блок на гор. -70 м з рудою різновиду 3 об'ємом 70 тис. м³ та скельні розкривні породи об'ємом 5 тис. м³. Тобто, після гор. -78 м екскаватор №44 може розпочати відробляти руду різновиду 3 і потім скельні розкривні породи, а можливо, навпаки, спочатку скельні розкривні породи і потім руду різновиду 3. Після цього екскаватор №44 переїде на горизонт -250 для відвантаження 20 тис. м³ руди різновиду 2 та 30 тис. м³ скальних розкривних порід. Отже, для екскаватора №44 маємо 4 варіанти його переміщень протягом місяця:

- 1) 78→70(руда3)→70(скеля)→250(руда2)→250(скеля),
- 2) 78→70(руда3)→70(скеля)→250(скеля)→250(руда2),
- 3) 78→70(скеля)→70(руда3)→250(руда2)→250(скеля),
- 4) 78→70(скеля)→70(руда3)→250(скеля)→250(руда2).

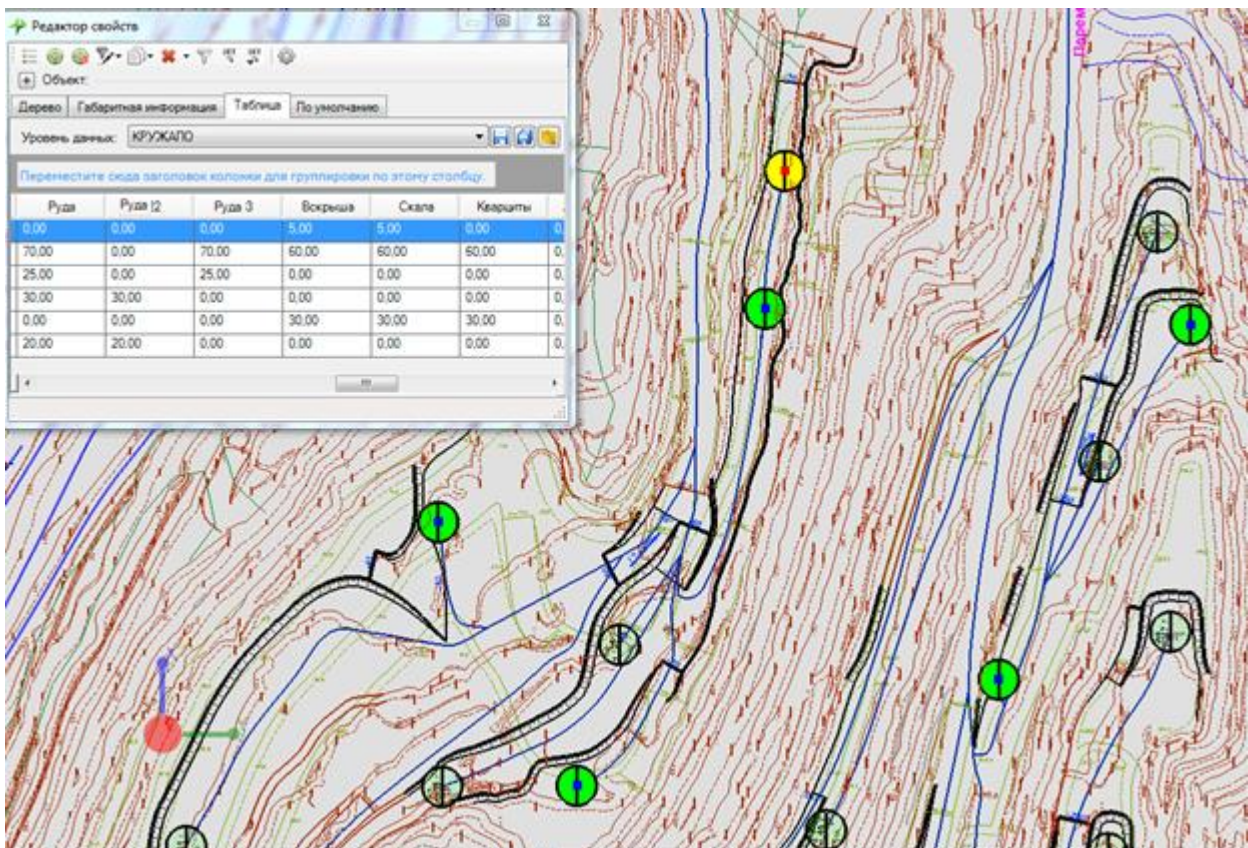


Рис.1. Сукупність можливих блоків відробки екскаватором №44 протягом місяця

Проаналізувавши аналогічно усі можливі варіанти послідовності відпрацювання блоків для усіх екскаваторів на характерному залізорудному кар'єрі, отримаємо близько до 4-6 тисяч варіантів формування добових планів на місяць.

На основі такого аналізу багатьох ситуацій, їх особливостей і технологічних вимог до організації переїзду екскаваторів між запланованими до виймання блоками був запропонований наступний алгоритм визначення раціональної послідовності відпрацювання блоків протягом місяця.

1. Аналіз можливих варіантів переміщення екскаваторів протягом місяця.
2. Аналіз забезпечення планових показників (об'ємних та якісних) гірничої маси на пунктах розвантаження.
3. Визначення значень критеріальних показників вантажопотоків на пункти розвантаження.

В якості критеріальних показників для оцінки раціональності варіанту вантажопотоків на пункти доставки прийняті наступні параметри.

1. Граничне значення дефіциту руди S на пунктах розвантаження:

$$S = \max_{k=1,d} (P_{\text{план}j} - \sum_i P_{ik}),$$

де P_{ij} – сумарний вантажопотік від i -их екскаваторів у k -у добу;

$P_{\text{план}j}$ – планове значення вантажопотоку руди на j -му пункті розвантаження.

Якщо проаналізована комбінація варіантів не забезпечить припустимого дефіциту руди з точки зору коефіцієнта використання дробильного обладнання, то вона не розглядається у подальшому.

2. Граничне значення надлишку руди E на пунктах розвантаження:

$$E = \max_{k=1,d} (\sum_i P_{ik} - P_{\text{план}j}).$$

Гранична величина показника E буде обумовлена технологічними параметрами приймальних пунктів. Якщо сумарно усі пункти, що приймають руду за добу, можуть зберігати певний її об'єм, то із подальшого розгляду виключаються усі комбінації варіантів, що вимагають більшого накопичення об'ємів руди, оскільки відвантажену екскаваторами руду фізично нікуди буде складувати.

3. Третій показник – сума модулів відхилень (або квадратів відхилень) планових значень об'ємів руди на пунктах розвантаження та фактичних об'ємів руди від екскаваторів DA :

$$DA = \sum_{k=1}^d \left(\sum_i P_{ik} - P_{\text{план}ij} \right)^2.$$

Характеризує динамічність режиму роботи кар'єру з точки зору забезпечення планових значень об'ємів руди:

4. Аналіз власне динаміки роботи гірничо-транспортного комплексу кар'єру. Для цього потрібно задатись граничними значеннями трьох перелічених показників для кожної комбінації переїздів екскаваторів.

5. Для залишених комбінацій проводиться більш детальний аналіз можливих щодобових розподілів вантажопотоків для розрахунку значень цільових функцій роботи гірничо-транспортного комплексу (наприклад, якості отриманої шихти руд та вартості транспортування усієї гірничої маси на кар'єрі).

6. Якщо одна альтернатива (комбінація переїздів) переважає за усіма цільовими функціями усі інші (тобто є домінуючою), то її вважаємо розв'язком задачі визначення раціональної послідовності відпрацювання блоків. У іншому випадку компромісну (ефективну) альтернативу обираємо за додатковими показниками за допомогою комбінаторних методів.

Комбінаторні методи базуються на кінцевості варіантів розв'язку задач дискретного програмування. Основна ідея цих методів полягає у заміні повного перебору варіантів направленим частковим перебором. Як правило, намагаються відкинути деяку підмножину варіантів, що заздалегідь не містить оптимальний, а подальший перебір ведуть серед залишених перспективних варіантів. Одним із основних та найбільш універсальних методів із комбінаторної групи є відомий метод гілок та границь [1]. Цей метод полягає у покроковому розбитті усієї множини варіантів на низку підмножин з їхньою оцінкою.

Продовжимо подальший розгляд задачі визначення раціональної послідовності відпрацювання блоків як компромісної альтернативи за допомогою методу гілок та границь.

1. Всю початкову множину варіантів розбиваються на низку підмножин в залежності від значень критеріальних показників. На першому етапі такими показниками можуть бути показники S , E та DA . Якщо усю множину варіантів позначити G , то результат першого кроку можна представити орієнтованим графом у вигляді дерева.

2. Виділені підмножини оцінюються, для чого по кожній підмножині обчислюють оцінку критерію оптимальності $f(G_i^{(1)})$. Обчислення оцінки, як і розбиття множини варіантів на підмножини залежить від конкретних умов задачі. Якщо на кар'єрі може скластись ситуація, коли неможливо виконати завдання з якості, то намагаються переходять до іншого критерію, виходячи із гірничо-технологічної ситуації.

3. Вибір перспективної підмножини та подальше гілкування від неї. Перспективною є підмножина з найменшою оцінкою.

4. Для нових вершин обчислюють оцінки і порівнюють їх.

5. Вибирають варіант із найменшою оцінкою і подальше гілкування ведуть від нього.

Розглянемо тестовий варіант гірничої ситуації на кар'єрі. Вихідні дані представлені у табл.1-3.

Таблиця 1

Дані про екскаваторні блоки

Номер екскав.	Горизонт	Вид породи	Об'єм, тис. т	Вміст заліза магн.	Вміст заліза в конц.	Позначення положень екскаватора
11	-270	розкриття	120			11
12	-210	руда 3	10	15	62,8	12 ₀
12	-210	руда 2	60	29	65,8	12 ₁
12	-210	скель. пор.	50			12 ₂
23	-126	руда 2	40	27,3	68,1	23 ₀
23	-126	руда 3	20	19,5	58	23 ₁
23	-114	руда 2	30	27,5	68	23 ₂
23	-114	руда 3	30	20,4	55	23 ₃
24	-270	скель. пор.	30			24 ₀
24	-260	скель. пор.	40			24 ₁
24	-250	руда 2	20	26,8	66	24 ₂
24	-250	руда 3	30	19,2	60,2	24 ₃

Як видно із табл.1, об'єм гірничої маси від кожного екскаватора на місяць складає 120 тис. т. Для спрощення вважаємо, що місяць складатиметься із 30 робочих днів, тоді кожного дня кожен екскаватор матиме планову добову продуктивність у 4 тис. т. Загальний об'єм руди 2 на місяць складе 150 тис. т (5 тис. т щодня), руди 3 – 90 тис. т (3 тис. т щодня), розкритті породи -240 тис. т (8 тис. т щодня).

Таблиця 2

Дані про пункти розвантаження

Назва ПП	Вид породи	Об'єм, тис. т	Вміст заліза магн.	Вміст заліза в конц.
102	руда2	50	28,46	67,89
108	руда2	50	28,3	68
122	руда2	50	28,26	68,17
132	руда3	45	18,61	58,98
106	руда3	45	18,8	59
Захід 201	розкритті породи	400	-	-
Захід 203	розкритті породи	400	-	-

Таблиця 3

Відстані між екскаваторами та пунктами розвантаження, м

Екск/ПР	102	108	122	132	106	Захід 201	Захід 203
11	-	-	-	-	-	6845	6827
12	5403	5407	4921	5374	3168	6722	6703
23/-126	5150	5154	4669	4572	2366	-	-
23/-114	5582	5585	5100	5004	2798	-	-
24/-270	-	-	-	-	-	6934	6916
24/-260	-	-	-	-	-	6804	6785
24/-250	5838	5841	5356	5809	3603	-	-

Якщо вручну, без використання математичних моделей оперативного планування, розподілити наведені місячні об'єми між пунктами розвантаження, то отримаємо наступні показники його роботи:

- середньозважена відстань транспортування гірничої маси - 5830 м;
- середнє значення руди₂ магнітне - 27,95%;
- середнє значення руди₂ у концентраті - 66,75%;
- середнє значення руди₃ магнітне - 19,2%;
- середнє значення руди₃ у концентраті - 58,27%;
- значення цільової функції – вартості перевезення гірничої маси – 2798832 у.о.;
- кількість металу у видобутій руді – 38,054 тис. т/місяць або 1,268 тис. т/щодня.

Проаналізуємо можливі варіанти переміщень екскаватора протягом місяця:

1. Екскаватор №11 весь місяць працює на блоці на гор.-270 м, відвантажуючи розкривні породи, щодня його планова продуктивність складатиме 4 тис. т.

2. Екскаватор №12 на початку місяця працює на блоці гор.-210 м, відвантажуючи руду 3 об'ємом 10 тис. т. При продуктивності 4 тис. т на добу, цей блок він відпрацює за 2,5 доби, після чого може переїхати на будь-який з двох інших планових блоків. Тобто, для екскаватора №12 можливі варіанти переїздів $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$ або $12_0 \rightarrow 12_2 \rightarrow 12_1$, усього 2 можливі варіанти.

3. Екскаватор №23 на початку місяця відвантажує руду 2 з блоку на гор.-126 м об'ємом 40 тис. т. Він працюватиме на цьому блоці 10 діб, після чого може переїхати до будь-якого із трьох інших блоків. Вважатимемо, що після переїзду на гор. -114м (до блоків 23₂ або 23₃) потрібно буде відробити послідовно обидва блоки цього горизонту. Тобто після блоку 23₂ екскаватор може переїхати тільки до блоку 23₃ (якщо він ще не відроблений), а після 23₃ – до блоку 23₂ (за тієї ж умови). Тоді для екскаватора №23 маємо наступні варіанти переїздів протягом місяця:

- 23₀→23₁→23₂→23₃;
- 23₀→23₁→23₃→23₂;
- 23₀→23₂→23₃→23₁;
- 23₀→23₃→23₂→23₁.

4. Екскаватор №24 має схожу технологічну ситуацію з екскаватором №23. Спочатку він відроблятиме блок гор. -270 м із розкривними породами об'ємом 30 тис. т, за планової продуктивності 4 тис. т/добу це вимагатиме 7,5 діб. Потім може переїхати до будь-якого іншого з трьох блоків. Але якщо екскаватор опиниться на одному з блоків гор. -250 м, то повинен буде відробити обидва блоки. Тобто потрібно проаналізувати наступні варіанти переїздів екскаватора №24 протягом місяця:

- 24₀→24₁→24₂→24₃;
- 24₀→24₁→24₃→24₂;
- 24₀→24₂→24₃→24₁;
- 24₀→24₃→24₂→24₁.

У результаті такого попереднього аналізу виявляємо, що загальна кількість можливих комбінацій варіантів переїзду екскаваторів складає $1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32$ варіа-

нти. Звичайно, таку кількість варіантів можна проаналізувати простим перебором, але пам'ятаємо, що приклад, який розглядається, лише тестовий, і мета його розгляду – розробити методику визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця, на множині яких буде вирішуватися типова задача добового планування гірничо-транспортних робіт.

Проаналізуємо, яким чином для кожного з варіантів забезпечуватимуться планові показники об'ємів руди 2 і руди 3 на пунктах розвантаження, тобто кількість руди, що надійде на подальшу переробку. Наприклад, для першої комбінації ($12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_3$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3$), у перший день роботи руду 2 відвантажує лише екскаватор 23, тому лише 1 порція руди у 4 тис. т надійде протягом цієї доби на пункти розвантаження. Добова потреба пунктів розвантаження складає 5 тис. т або 1,25 порцій від екскаваторів.

Для кожної комбінації варіантів розраховується відхилення об'ємів руди, що надійшли на пункти розвантаження від першого дня місяця до поточного (сумарно). Наприклад, для першої комбінації у першу добу спостерігається дефіцит у 0,25 порцій руди (1 тис. т), у другу – дефіцит у 0,5 порцій (2 тис. т), а вже у четверту добу маємо надлишок руди у 0,5 порцій руди тощо. Усі варіанти комбінацій на тридцять добу місяця мають нульове відхилення об'ємів руди від екскаваторів та на пунктах розвантаження, але всі комбінації характеризуються різними значеннями найбільшого дефіциту продуктивності екскаваторів, найбільшого надлишку та сумарного значення модулів відхилень. Для того самого першого варіанту комбінацій найбільший дефіцит складе 0,5 порцій, надлишок – 9,5 порцій, а сума модулів відхилень за усі дні місяця дорівнює 22,5 порцій руди.

Після визначення для усіх варіантів комбінацій переїздів екскаваторів можемо проаналізувати власне динаміку роботи виймально-навантажувального комплексу кар'єру. Для цього потрібно задатись граничними значеннями трьох перелічених показників (S , E , DA) для кожної комбінації.

Задавшись значенням $S=1,5$ та $E=6$, відберемо із 32 варіантів комбінацій лише 5:

- №2: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_3$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2$;
- №5: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3$;
- №8: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2$, $24_0 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_1$;
- №14: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2$;
- №27: $12_0 \rightarrow 12_2 \rightarrow 12_1$, $23_0 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_1$.

Аналогічний аналіз проведемо для руди 3. Задавшись $S=5$ та $E=0,5$, залишиться лише 6 комбінацій:

- №5: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3$;
- №12: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_1$;
- №14: $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2$;
- №21: $12_0 \rightarrow 12_2 \rightarrow 12_1$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3$;
- №28: $12_0 \rightarrow 12_2 \rightarrow 12_1$, $23_0 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_1$;
- №30: $12_0 \rightarrow 12_2 \rightarrow 12_1$, $23_0 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2 \rightarrow 23_1$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_3 \rightarrow 24_2$.

Як бачимо, спільних припустимих комбінацій для обох видів руд лише дві: №5 і №14. При цьому комбінації №12, №21 і №30, відібрані при аналізі руди 3, мають надто великі значення S та E для руди2: 13, -8,75 та -9,25 відповідно, тому вони *виключаються із розгляду*. Для залишених комбінацій 2, 5, 8, 14, 27 та 28 проведемо більш докладний аналіз можливих щоденних розподілів вантажопотоків для визначення показників якості отриманої шихти руд та вартості транспортування усїєї гірничої маси на кар'єрі.

Для кожного дня за допомогою моделі лінійного програмування [2] проводимо розподіл вантажопотоків на кар'єрі між екскаваторами та пунктами розвантаження, визначаючи при цьому середньозважену відстань L та загальну кількість металу у видобутій руді M .

Була також розрахована сума середньоквадратичних відхилень K якісного показника M для шістьох комбінацій варіантів переїздів і отримані наступні дані: для комбінації 2 – $K=0,9599$ (при $L=5736$), для 5 – $K=0,5535$ (при $L=5945$), для 8 – $K=6,6413$ (при $L=5605$), для 14 – $K=0,5528$ (при $L=5600$), для 27 – $K=3,0991$ (при $L=5950$), для 28 – $K=4,6993$ (при $L=5930$). Таким чином, найкращою комбінацією варіантів за обома показниками можна вважати комбінацію №14 з найменшим значенням дальності транспортування та найменшим значенням коливальності якісного показника. Звичайно, такої ситуації, коли одна альтернатива (комбінація №14) переважає за обома показниками усі інші (тобто є домінуючою) може не скластись, і тоді доведеться обирати компромісну (ефективну) альтернативу за додатковими показниками за допомогою комбінаторних методів.

1. Як зазначено вище, на першому кроці було отримано шість підмножин варіантів (комбінації №2, 5, 8, 14, 27, 28, рис.3). Аналізуємо структуру отриманої множини $G_i^{(1)} = \{G_2^{(1)}, G_5^{(1)}, G_8^{(1)}, G_{14}^{(1)}, G_{27}^{(1)}, G_{28}^{(1)}\}$. У табл. 5 наведені номери блоків, які відробляють екскаватори після першого переїзду.

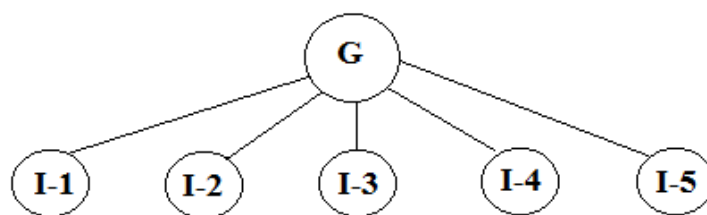


Рис. 2. Перший крок розв'язання задачі методом гілок та границь

Таблиця 5

Розташування екскаваторів після першого переїзду

	11	12	23	24
2 (I-1)	11 ₀	12 ₁	23 ₁	24 ₁
5 (I-1)	11 ₀	12 ₁	23 ₁	24 ₁
8 (I-2)	11 ₀	12 ₁	23 ₁	24 ₃
14 (I-3)	11 ₀	12 ₁	23 ₃	24 ₁
27 (I-4)	11 ₀	12 ₂	23 ₂	24 ₂
28 (I-5)	11 ₀	12 ₂	23 ₂	24 ₃

Комбінації 2 та 5 мають однакове положення екскаваторів після першого переїзду (позначимо їх I-1, тобто перший крок I, перший варіант групування екскаваторів 1), тому на першому кроці залишаємо п'ять оцінюваних варіантів (перераховані у табл. 5).

Після аналогічного виконання другого, третього та четвертого кроків методу гілок і границь, було отримано рішення тестового прикладу: найкращим варіантом послідовності відробки блоків екскаваторами можна прийняти комбінацію №5, яка схематично виглядає як $12_0 \rightarrow 12_1 \rightarrow 12_2$, $23_0 \rightarrow 23_1 \rightarrow 23_3 \rightarrow 23_2$, $24_0 \rightarrow 24_1 \rightarrow 24_2 \rightarrow 24_3$:

- екскаватор №11 весь місяць працює на блоці гор.-270 м;
- екскаватор №12 на початку місяця працює на блоці гор. -210 м, відвантажуючи руду 3; після цього він переміщується до вибою із рудою 2, і вже потім до блоку з розкритими породами;
- екскаватор №23 на початку місяця відвантажує руду 2 з блоку гор. -126 м, потім на тому самому гор.-126 м він відвантажить руду 3; після переїзду на гор.-114 м екскаватор №23 відробить спочатку блок із рудою 3, а останнім – блок із рудою 2;
- екскаватор №24 спочатку він відроблятиме блок гор.-270 м із розкриттям; потім він повинен переїхати до гор.-260 м і відвантажити розкриття на ньому; після того екскаватор 24 відробляє блоки гор.-250 м – спочатку із рудою 2, а потім із рудою 3.

Наведені результати тестових розрахунків наглядно показують їх динамізм, що відповідає динамічному характеру задачі визначення раціональної послідовності відпрацювання місячних планових блоків.

Крім того був виконаний порівняльний аналіз двох підходів до місячно-добового планування гірничо-транспортних робіт: визначення добових планів за типовою моделлю та визначення добових планів за створеною, на основі методу гілок і границь, методикою і типовою моделлю. Для цього визначались послідовності відпрацювання планових блоків по виборці із 33 місячних програм гірничих робіт. Результати підтвердили доцільність запропонованого підходу. До того ж на 8-12% зменшились випадки несумісності вихідних даних.

Висновки. Запропонована загальна методика оперативного планування гірничо-транспортних робіт в залізорудному кар'єрі, яка включає створену методику визначення раціональних послідовностей відпрацювання планових місячних блоків протягом місяця та відому методику рішення типової задачі місячно-добового планування, в більшій степені реалізує динамічний підхід, ніж традиційний підхід. Це дозволило підвищити ефективність та надійність самого планування, що підтверджено результатами порівняльного аналізу по вибірці за 33 місячні програми гірничих робіт: зменшенням коливань об'ємних та якісних показників в об'ємах доставки руди на перевантажувальні пункти та зменшенням числа випадків несумісності вихідних даних на 8-12%.

При повній програмній реалізації всіх виконуваних процедур загальної методики вона може використовуватись в підсистемі підтримки планових технологічних рішень у складі системи оперативного планування гірничо-транспортних робіт залізорудного кар'єру.

Перелік посилань

1. Резниченко, С. С., Подольский, М. П., & Ашихмин, А. А. (1991). *Экономико-математические методы и моделирование в планировании и управлении горным производством*. Москва: Недра.
2. Вінівітін, Д. В. (2017). Додаткові умови для запобігання незбіжності формування оперативних планів управління вантажно-транспортним комплексом кар'єру. *Збірник Наукових Праць Національного Гірничого Університету*, (50), 75–81.

АННОТАЦИЯ

Цель работы – повышение эффективности и надежности методического обеспечения месячно-суточного планирования горно-транспортных работ в железорудном карьере.

Методика выполнения. Анализ и структуризация множества возможных последовательностей отработки месячных плановых блоков. Обоснование критериальных оценок структурированных групп последовательностей отработки месячных плановых блоков. Применение метода ветвей и границ для анализа, отсева нецелесообразных вариантов последовательностей и формирования множества их рациональных вариантов. Решение типовой задачи месячно-суточного планирования горно-транспортных работ в железорудном карьере. Сравнительный анализ эффективности и надежности двух подходов: решение только типовой задачи месячно-суточного планирования и формирования области рациональных последовательностей и решение типовой задачи на сформированной области.

Результаты. Предложены правила анализа и структурирования множества возможных последовательностей отработки месячных плановых блоков. Обоснованы критериальные оценки рациональных вариантов возможных последовательностей. На основе метода ветвей и границ создана методика определения рациональных последовательностей отработки плановых месячных блоков в течение месяца, на множестве которых должна решаться типовая задача месячно-суточнoгo планирования горно-транспортных работ.

Научная новизна. Получил дальнейшее развитие динамический подход к решению задач оперативного планирования горно-транспортных работ, который был реализован методикой определения рациональных последовательностей отработки плановых месячных блоков в течение месяца.

Практическое значение заключается в общей методике месячно-суточного планирования горно-транспортных работ железорудного карьера, что включает созданную методику определения рациональных последовательностей отработки плановых месячных блоков в течение месяца и методику решения типовой задачи. Сравнительный анализ результатов месячно-суточного планирования по реальным производственным данным 33 месячных программ горных работ без применения созданной методики и с ею показал уменьшение колебаний объемных и качественных показателей в суточных объемах доставки руды на перегрузочные пункты. К тому же на 8-12% уменьшились случаи несовместности исходных данных, что свидетельствует о повышении надежности программного обеспечения.

Ключевые слова: открытые горные работы, железорудный карьер, горно-транспортные работы, оперативное планирование.

ABSTRACT

Purpose. of the work is to increase the efficiency and reliability of methodological support for the monthly-daily planning of mining and transport operations in the iron ore surface mine.

The methods. Analysis and structuring of many possible sequences of development of monthly

planning blocks. Substantiation of criterion estimates of structured groups of sequencing of monthly planning blocks. The use of the branch and boundary method for the analysis, elimination of impractical variants of sequences and formation of many rational variants of them. Solution to the typical task of monthly planning of mining and transport operations in the iron ore surface mine. Comparative analysis of the efficiency and reliability of two approaches: solving only the typical problem of monthly-daily planning and formation of the domain of rational sequences and solving the typical problem in the formed area.

Findings. The rules of analysis and structuring of a set of possible sequences of working out of monthly plan blocks are offered. The criterion estimates of rational variants of possible sequences are substantiated. On the basis of the method of branches and borders the method of determination of rational sequences of working out of planned monthly blocks during a month is created.

The originality. The dynamic approach to the solution of tasks of operative planning of mining and transport works, which was realized by the method of determination of rational sequences of working out of planned monthly blocks during a month, was further developed.

Practical implication lies in the general methodology of monthly-daily planning of mining and transport works of the iron ore surface mine, which includes the created method of determining rational sequences of working out of planned monthly blocks during the month and the method of solving a typical solution of a typical problem. Comparative analysis of the results of monthly-daily planning based on real production data of 33 monthly mining programs without using the created methodology and with it showed a decrease in fluctuations of volume and quality indicators in daily volumes of ore delivery to reloading points. In addition, cases of incompatibility of the original data decreased by 8-12%, which indicates that the software is more reliable.

Keywords: *opencast mining, iron ore surface mineing, mining operations, operational planning.*