

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ВАНТАЖНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАЛІЗОРУДНОГО КАР'ЕРУ

В.С. Іванов, Д.В. Вінівітін, ВАТ «Полтавський ГЗК», Україна

Розглянуто питання планування роботи залізорудного кар'єру на внутрішньомісячному часовому інтервалі. Пропонується спільний розгляд задач оперативного планування та оперативного управління, проаналізовані ситуації порушення режиму роботи, сформовані математичні моделі розв'язання задачі.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.

Із збільшенням глибини кар'єру та розвитку гірничо-технічних комунікацій зростає складність управління вантажно-транспортним комплексом гірничо-збагачувального комбінату. Навіть можливості сучасних інформаційних систем не завжди можуть задовольнити обчислювальним вимогам, потрібним для швидкого та ефективного формування управлінських дій з метою досягнення оптимальних показників роботи кар'єру. Тому для удосконалення якості планування на кар'єрі залізорудного комбінату потрібно постійно розвивати методологію аналізу і управління роботою його вантажного та транспортного обладнання.

Основи концепції планування роботи кар'єру були закладені ще з початком їх інтенсивного розроблення і полягали в декомпозиції загальної задачі планування на декілька часових інтервалів [1]. На етапі перспективного планування розв'язується задача вибору напрямку розвитку кар'єру, його продуктивності на найближчі 3-5 і більше років, визначається склад парків техніки. Другий етап планування – поточний – має часовий інтервал від 1 року до 1 місяця. При цьому розподіляється вантажне і бурове обладнання за робочими уступами кар'єру та складається порядок відробки його блоків. На етапі планування, що складає 1 місяць, вказується певна кількість та розташування вантажного і бурового обладнання із зазначенням обсягів робіт, різновидів порід та якості руд. Третій етап планування – оперативне планування. На цьому етапі відбувається розподіл за тижнями, днями, змінами об'ємів робіт, екскаваторів з урахуванням якості руд та зазначенням напрямку руху та часу переїздів, розподіл маршрутів руху та організація роботи транспортних засобів. Обов'язковою умовою є виконання планових показників кар'єру за об'ємами гірничих порід та якісними показниками руди, і внаслідок цього, вихід екскаваторів до кінця місяця на заплановане положення фронту робіт. Останній, четвертий, етап планування роботи кар'єру називають оперативним управлінням [4-5]. На цьому етапі розглядається внутрішньозмінний часовий інтервал, і власне, відбувається безпосереднє забезпечення виконання планових показників роботи кар'єру з виконанням робіт, необхідних для дотримання гірничої технології.

У відповідності до даної концепції побудовано формування звітності на кар'єрах: річні програми розвитку гірничих робіт затверджуються на рівні державних органів; місячні програми захищаються відповідними відділами кар'єру на рівні адміністрації комбінату; тижнево-добові плани роботи кар'єру формуються на рівні гірничого та технічного відділів, і нарешті, оперативно-диспетчерська служба забезпечує безпосереднє виконання завдань. Маємо вибудовану і давно працюючу ієрархічну структуру, на кожному щаблі якої відбувається розв'язання оптимізаційних задач з метою отримання якісної сировини для подальшої переробки на дробарних та збагачувальних фабриках. Але, на жаль, ефективність функціонування такої структури не можна вважати досконалою.

Відомо, що найкращим результатом планування видобутку сировини є руда сталої якості та кількості, оскільки післякар'єрний переділ відзначається значною інерційністю формування якісних характеристик. Тобто на виході з кар'єру треба отримати рудні потоки, які внаслідок селекційних та усереднювальних процедур будуть мати такі параметри вмісту корисних та шкідливих речовин, вологості, сортності та збагачуваності, що відповідають

затвердженим налаштуванням дробарних та збагачувальних механізмів. Відхилення від цих налаштувань повинні бути екстремально мінімальними. Вже протягом десятків років дослідники, аналізуючи об'ємні та якісні характеристики рудної сировини, вказують на їхній коливальний характер, причому амплітуда таких коливань не завжди припустима. Крім того, з постійним заглибленням кар'єрів зростає складність гірничих процесів та економічних показників роботи різних ділянок кар'єру, зокрема вантажно-транспортного комплексу (стійкість бортів кар'єру, зростання дальності транспортування, складність структури транспортних комунікацій тощо). Тому система планування роботою кар'єру повинна набувати подальшого удосконалення.

Аналіз досліджень та публікацій.

До головних проблем можливо віднести наступні:

1. Недостатньо відслідковуються взаємозв'язки між різними рівнями планування. Наприклад, при формуванні місячної програми намагаються витримати об'ємні показники руди та розкриття, виконують приблизний розрахунок отриманих якісних показників, але деталізацію таких укрупнених розрахунків часто не проводять: яким чином щодоби та щозміни буде відбуватись формування вантажопотоків гірничої маси не аналізується.

2. Як зазначено вище, на кожному етапі планування складають оптимізаційні моделі, що дозволяють знайти сигнали управління, які відповідають оптимальній ситуації на даному часовому інтервалі, тобто отримуємо оптимальне управління кожної окремої підсистеми планування. Внаслідок цього, на практиці отримуємо не повну, а часткову оптимізацію. Принцип часткової оптимізації полягає у тому, що оптимізація кожної окремої підсистеми, що проводиться незалежно, як правило, не призводить до оптимальної системи, і покращення, досягнуте в одній підсистемі, може погіршити роботу системи у цілому.

Постановка задачі.

Зрозуміло, що поставлені проблеми складні у вирішенні, вимагають істотного інформаційного забезпечення, великих ресурсів обчислювальної техніки. Тому, для початку, розглянемо спільно хоча б два останні етапи планування роботи кар'єру – оперативне планування та оперативне управління.

Викладення матеріалу та результати.

До основних задач оптимального планування оперативного диспетчерського управління гірничо-транспортними роботами на кар'єрах належать:

- планування об'ємів сировини, що видобувається в окремих екскаваторних блоках;
- планування розподілу транспортних засобів на оперативну зміну;
- планування вантажопотоків при комбінованих видах транспорту;
- облік та контроль за ходом виконання гірничотранспортних робіт на кар'єрі;
- управління шляхом перерозподілу транспортних засобів як за окремими забоями, так і за окремими напрямками вантажопотоків з кар'єру.

У процесі попереднього дослідження виявлені основні задачі, що розв'язуються у системі оперативного планування-управління, та черговість їхнього розв'язання за інформацією, що надходить:

1. Планування тижневих об'ємів з розбивкою на доби, зміни.
2. Визначення потрібних видобувних забоїв для отримання заданої якості (кількості працюючих екскаваторів).
3. Визначення потрібної кількості автосамоскидів.
4. Розподіл автосамоскидів за екскаваторами.
5. Планування супутнього розкриття.
6. Планування дорожньої та допоміжної техніки.
7. Планування робіт з дренажу та зневоднення.
8. Корегування змінних об'ємів.
9. Корегування потрібних видобувних забоїв.
10. Перерозподіл транспорту між працюючими екскаваторами.
11. Введення резервних екскаваторів.

12. Видача нарядів водіям автосамоскидів.
13. Видача нарядів машиністам екскаваторів.
14. Видача нарядів для допоміжної техніки.
15. Навантаження руди.
16. Навантаження супутніх порід та порід розкриття.
17. Транспортування руди.
18. Транспортування супутніх порід та порід розкриття.
19. Підготовка майданчиків, під'їзних шляхів, дренажних виробок тощо.
20. Контроль об'ємів, що вивозяться.
21. Контроль якості руди, що видобувається, всередині зміни.
22. Контроль за роботою обладнання та його станом.
23. Контроль вологості.
24. Контроль за станом під'їзних шляхів, майданчиків, дренажних виробок.
25. Змінний, добовий облік об'ємів видобутої руди.
26. Змінний, добовий облік якості видобутої руди.
27. Облік простоїв обладнання із вказанням причин.
28. Облік розкриття.
29. Передача відомостей гірничому диспетчеру.

До основних натуральних критеріїв, що можна використати при оперативному плануванні-управлінні кар'єру, належать:

- виробіток на одного робітника промислово-виробничого персоналу, т/добу;
- об'єм видобутку сирової руди та випуску концентрату у плановий період часу, т;
- якість корисних копалин, концентрату, %;
- працемісткість окремих процесів, чол-змін;
- питомі витрати основних матеріалів та енергії у розрахунку на 1 м³ руди, що видобувається, концентрату;
- вихід підірваної гірничої маси на 1 м пробуреної свердловини;
- продуктивність гірничотранспортного обладнання;
- коефіцієнт використання гірничотранспортного обладнання за часом та продуктивності;
- вилучення корисного компонента до товарного концентрату (агломерату), %;
- втрати корисного компонента у хвостах, %;
- виробка на 1 м³ ковша екскаватора;
- коефіцієнт технічної готовності (автосамоскидів);
- коефіцієнт використання вантажопідйомності;
- виробка на 1 т вантажопідйомності;
- вантажообіг, т·км;
- якість усереднення (у випадку різної якості руди у різних забоях за умови виконання плану);
- рівномірність посування фронту робіт тощо.

Для забезпечення ефективності управління структура зовнішнього математичного забезпечення системи оперативного планування-управління (моделі, алгоритми, програми та їхній взаємозв'язок) повинні відповідати основним закономірностям гірничотранспортного процесу у кар'єрі. Цього можна досягти самоорганізацією системи управління, тобто підсистема оперативного управління гірничотранспортними роботами повинна бути адаптивною.

До найбільш пристосованих до умов гірничого виробництва та найчастіше уживаних належать моделі лінійного програмування та його удосконалення. Наприклад, для задачі формування вантажопотоків на різних часових інтервалах можна використовувати наступну ймовірнісну модель управління змінами роботи кар'єра, яка буде представлена у вигляді задачі стохастичного програмування:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot P_{ij} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

$$F_2 = \sigma_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot (\alpha_i - \alpha_{nn})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$F_3 = \sum \left[(P_{ij}^{\max} - R_j) - P_{ij} \right] \Rightarrow \min, \quad (3)$$

$$A_{nij} \leq \sum_{i=1}^n P_{ij} \leq A_{nij} + \Delta A_j, \quad (4)$$

$$\alpha_{nj} - \Delta \alpha_j \leq \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \leq \alpha_{nj} + \Delta \alpha_j, \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \leq D_j, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n P'_{ij} : \sum_{i=1}^n P''_{ij} : \sum_{i=1}^n P'''_{ij} = T_j : S_j : L_j, \quad (7)$$

$$P \left\{ Q_{i\min} \leq \sum_{j=1}^m (P_{ij} + V_i) \leq Q_{i\max} \right\} \geq P, \quad (8)$$

$$P_{ij} \leq P_{ij}^{\max} \quad (9)$$

$$P_{ij} \geq 0, i = 1, n; j = 1, m. \quad (10)$$

Вираз (1) використовується для визначення транспортних витрат на перевезення руди із забоїв до пунктів розвантаження. Вираз (2) – середньоквадратичне відхилення показника якості корисного компонента в шихті, що надходить на збагачувальну фабрику. Вираз (3) – технічний критерій – до закінчення певних часових періодів екскаватори повинні відробити певні запаси рудної маси. Обмеження (4) – за об'ємом шихти, що надходить на збагачувальну фабрику, обмеження (5) – за вмістом корисного компонента в шихті, обмеження (6) – за вмістом шкідливого компонента в шихті, обмеження (7) – за співвідношенням в шихті різних сортів руд за збагачуваністю, обмеження (8) – за об'ємом видобутку кожного екскаватора, обмеження (9) – за об'ємом видобутку з кожної виймальної ділянки.

Застосовані позначення: i – індекс нумерації екскаваторів, $i=1..n$; j – індекс нумерації пунктів розвантаження, $j=1..m$; c_{ij} – вартість транспортування 1 т руди від i -го екскаватора до j -го пункту розвантаження, грн.; $c_{ij} = c \cdot l_{ij}$; c – питома вартість транспортування 1 т руди на

1 км, грн./т·км; l_{ij} – відстань від i -го екскаватора до j -го пункту розвантаження; P_{ij} – керована величина – обсяг руди, який перевозиться від i -го екскаватора до j -го пункту розвантаження; α_i – вміст корисного компонента в руді, що відвантажує i -й екскаватор; $\alpha_{плj}$ – потрібна якість шихти, що сформується на j -й збагачувальній фабриці; P_{ij}^{\max} – запас руди; R_j – відроблені запаси на початок планового періоду; $A_{плj}$ – об’єм гірничої маси, що надходить на j -й пункт розвантаження; ΔA_j – можливе відхилення об’ємних показників руди, що повинна надійти на j -й пункт розвантаження; $\Delta \alpha_j$ – припустиме відхилення від $\alpha_{плj}$; D_i – середній вміст шкідливих домішок в обсязі видобутку i -го екскаватора; D_j – припустиме значення вмісту шкідливих домішок в загальному обсязі руди, що надходить на збагачувальну фабрику; $P'_{ij}, P''_{ij}, P'''_{ij}$ – відповідно обсяги важко-, середньо- та легкозбагачувальних руд, що підлягають вийманню i -м екскаватором та поставляються на j -у збагачувальну фабрику; T_j, S_j, L_j – частки важко-, середньо- та легкозбагачуваних руд в процентному відношенні, що відповідають вимогам j -ї збагачувальної фабрики; $Q_{i\min}, Q_{i\max}$ – відповідно мінімальна та максимальна продуктивність екскаватора в конкретному забої; V_i – обсяг скального розкриття, який потрапив в контур видобуткових робіт i -го екскаватора.

Методів безпосереднього розв’язання таких задач не розроблено. Тому потрібно ввести детермінований еквівалент обмеження на продуктивність екскаватора, яке матиме наступний вигляд:

$$\sum_{j=1}^m (P_{ij} + V_i) + t(\alpha_i) \cdot \sigma^2 [Q_{i\min}] \geq M [Q_{i\min}] \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^m (P_{ij} + V_i) + t(\alpha_i) \cdot \sigma^2 [Q_{i\max}] \geq M [Q_{i\max}] \quad (12)$$

де α_i – заданий рівень ймовірності, з якою повинне виконатися обмеження; $t(\alpha_i)$ – нормалізоване значення випадкової величини, що відповідає появі її з ймовірністю, більшою за α_i ; $M[Q_i]$ – математичне сподівання величини продуктивності екскаватора; $\sigma[Q_i]$ – середньоквадратичне відхилення величини продуктивності екскаватора від середнього значення.

Результатом роботи такої моделі буде сукупність значень вантажопотоків від екскаваторів на пункти розвантаження P_{ij} . Після формування шихти на окремих розвантажувальних пунктах (перевантажувальні майданчики і склади, бункери дробарних та збагачувальних фабрик тощо) відбувається подальше переміщення і перемішування рудних потоків, тому необхідно врахувати закони трансформації якісних характеристик потоків [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{y_0}^2 = \frac{T_0 \sigma_x^2 \tau^2}{m^2 (T^2 - \tau^2)} \left[m \left(\frac{1}{\tau_0} - \frac{1}{T} \right) + 2 \sum_{S=1}^{m-1} (m-S) \times \left(\frac{1}{\tau_0} e^{-\frac{S t_0}{T}} - \frac{1}{T_0} e^{-\frac{S t_0}{T}} \right) \right] \\ \quad \text{(паралельне змішування)} \\ \sigma_{y_0}^2 = \frac{\sigma_x^2}{\alpha} \quad \text{(послідовне змішування без розриву в часі)} \\ \quad \text{тощо.} \end{array} \right.$$

Сформовану модель можна проаналізувати на зміну (непідтвердження) вхідних даних. Наприклад, при непідтвердженні якісних показників α_i при розробці родовища в межах $\alpha_i + \Delta \alpha_{i\min} \leq \alpha_i \leq \alpha_i + \Delta \alpha_{i\max}$ вантажопотік P_{ij} буде потрібний для формування рудного потоку на пункті прийому; а при непідтвердженні продуктивності екскаваторів Q_i також можемо сформувані нерівність $Q_i + \Delta Q_{i\min} \leq Q_i \leq Q_i + \Delta Q_{i\max}$, де знайдені границі показують межі, в яких можуть змінюватись продуктивності екскаваторів, щоб структура оптимального розв’язку, тобто масив ненульових вантажопотоків, залишився без зміни. А це означає, що при зміні продуктивності екскаватора в знайдених границях оптимальними (тобто такими, що забезпечують найменші відхилення по якості та об’ємах та найменші витрати) є ті самі вантажопотоки, але з іншими числовими параметрами.

Для визначення набору показників встановлений перелік можливих порушень, за якими вони обчислюються, і правила їхнього формування для вищих рівнів. При цьому необхідність визначення «вузького» місця вимагала розділення усієї багатоманітності порушень з урахуванням місця дії, структури гірничотранспортного комплексу та взаємодії його ланок.

Відповідно до виділених класів ситуацій для рівня технологічних агрегатів уся множина можливих порушень у роботі окремого агрегату була розділена на:

- клас внутрішніх порушень – ці порушення виникають всередині ланки, до якої входить агрегат, що аналізується, та впливають на передаточні властивості агрегату (ланки);
- клас зовнішніх порушень – ці порушення вносяться до роботи агрегату, що аналізується, з вини агрегатів суміжної ланки; вони проявляються через дію на величину, що передається (рудний вантажопотік), та безпосередньо знижують продуктивність гірничотранспортного комплексу; зовнішні порушення є проявом внутрішніх порушень та специфіки гірничотранспортного процесу.

На основі аналізу добових рапортів та комплексних хронометражних спостережень за роботою гірничотранспортного обладнання визначені види порушень з кожного класу (таблиця 1).

Таблиця 1

Види порушень роботи гірничотранспортного обладнання за класами

Тип обладнання	Внутрішні порушення	Зовнішні порушення
Екскаратори	<ul style="list-style-type: none"> - виконання підготовчо-заключних операцій; - виконання допоміжних операцій; - прибирання негабаритних шматків руди; - зачистка ґрунту забою; - підготовка забою; - перегон екскаватору; - зрошення забою; - аварійні простої екскаватору; - аварійний стан забою; - поломки механічної частини; - поломки електричної частини; - відхилення фактичних гірничотехнічних умов від нормативних (планових); - незадовільний стан забою; - зміна якості руди у забої. 	<ul style="list-style-type: none"> - простоювання з вини допоміжних цехів та служб; - перерви в електропостачанні; - простої з організаційних причин; - простої внаслідок очікування транспорту
Автосамоскиди	<ul style="list-style-type: none"> - запізнення на трасу на початку зміни; - аварійні сходження автосамоскидів з траси 	<ul style="list-style-type: none"> - простої в очікуванні завантаження під екскаваторами; - аварійні сходження автосамоскидів з траси внаслідок незадовільного стану доріг (пошкодження шин); - перевищення нормативної тривалості циклу транспортування внаслідок незадовільного стану доріг; - простої в очікуванні розвантаження
Дробильна фабрика	<ul style="list-style-type: none"> - аварійні простої дробарок, під час яких припиняється приймання руди 	<ul style="list-style-type: none"> - простої дробарок внаслідок відсутності руди

Майже усі зовнішні порушення ліквідуються на рівні планування роботи вантажно-транспортного комплексу кар'єру, визначення оптимальних вантажопотоків, кількості одиниць транспорту, формування графіку роботи транспорту, геометричного моделювання відробки блоків кар'єру, оптимального вибору місця розташування пунктів розвантаження та інших елементів транспортних комунікацій.

Сформовану модель (1-12) можна дещо трансформувати у разі несумісності розв'язку і визначити додаткові необхідні ресурси t_i (додаткові об'єми від екскаваторів):

$$F = \sum_{i=1}^n t_i \Rightarrow \min ,$$

$$A_{nj} \leq \sum_{i=1}^n P_{ij} \leq A_{nj} + \Delta A_j$$

$$\alpha_{nj} - \Delta \alpha_j \leq \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \leq \alpha_{nj} + \Delta \alpha_j$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot D_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \leq D_j$$

$$\sum_{i=1}^n P'_{ij} : \sum_{i=1}^n P''_{ij} : \sum_{i=1}^n P'''_{ij} = T_j : S_j : L_j$$

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} \geq Q_{i\min} - V_i.$$

$$\sum_{j=1}^m (P_{ij} + V_i) = Q_{i\max} + t_i$$

$$P_{ij} \leq P_{ij}^{\max}$$

$$P_{ij} \geq 0, i = 1, n; j = 1, m.$$

Якщо в реальних умовах збільшити продуктивність немає можливості, то потрібно корегувати директивні показники, до яких належать A_{nj} , T_j , S_j , L_j , D_j , α_{nj} , щоб отримати розв'язок, який визначається наявними ресурсами.

Ймовірнісна модель – основа розрахунків, вона має бути використана на різних кроках оперативного планування-управління, а з додаванням деяких обмежень, що враховують гірничі аспекти розвитку кар'єру, і для попередніх етапів формування річної та місячної виробничої програми. Причому вона може інформативно наповнюватись і розв'язуватись для декількох різновидів гірничої маси – як для селективної відробки декількох руд, так і для формування відвалів з різних типів порід розкриття (наприклад, окремо м'яких та скельних порід). Слід відзначити, що змінні P_{ij} жорстко прив'язані (через систему нерівностей) як до продуктивностей екскаваторів (або об'ємів блоків, які відробляють екскаватори), так і до приймальних здатностей

пунктів розвантаження (бункери дробарних фабрик, перевантажувальні майданчики або склади, відвали). Тобто якщо сума об'ємів блоків із певним різновидом гірничої маси не дорівнює сумі об'ємів приймальних здатностей пунктів розвантаження, то оптимальний розподіл вантажопотоків не буде знайдений через суперечливість деяких обмежень (4) та (8). У цьому випадку доводиться штучно коригувати числові значення цих обмежень.

Наприклад, може скластись така ситуація, коли для одного з різновидів на деякий проміжок часу (наприклад, на зміну) об'єм руди, який в змозі відвантажити екскаватори більший об'єму, який можуть прийняти пункти розвантаження. Тоді можна розглянути варіант, за якого мінімальні продуктивності екскаваторів приймаються рівними нулю, а їхні максимальні продуктивності штучно зменшуються пропорційно до тих об'ємів, які зможуть прийняти пункти розвантаження. Треба уважно слідкувати за динамічним формуванням ситуації на кар'єрі протягом місяця, оскільки описана вище ситуація може складатись доволі часто (декілька днів протягом місяця), що призведе до невиконання планових об'ємних показників з деяких різновидів гірничої маси.

Ці ситуації можуть виникати внаслідок втрат продуктивності технологічних агрегатів (перший рівень), ланок гірничотранспортного комплексу (другий рівень) та виробничої потужності кар'єра в цілому (третій рівень) за зміну. Величина втрати продуктивності гірничотранспортного комплексу свідчить про рівень організації гірничотранспортних робіт (загальна оцінка ситуації), величина втрат продуктивності за окремими ланками визначає наявність «вузького» місця. Величина втрат продуктивності з причини окремих порушень дозволяє намітити до усунення основні збуджуючі фактори, тобто достатньо чітко вказує на необхідність формування того чи іншого управляючого рішення.

Висновки.

1. Розбиття системи планування розвитку кар'єру на часові інтервали призводить до часткової оптимізації, що може викликати неоптимальні рішення щодо усїєї системи. Необхідно збільшити взаємозалежність різних рівнів планування роботи кар'єру введенням додаткових обмежень гірничо-геометричного та технологічного характеру.

2. Система оптимізації вантажопотоків на тижнево-добовому інтервалі повинна мати розв'язком графік перевезень гірничої маси від екскаваторів до пунктів розвантаження, що враховують особливості формування транспортних потоків.

Список літератури:

1. Астафьев, Ю.П. Планирование и организация погрузочно-транспортных работ на карьерах / Астафьев Ю.П., Полищук Г.К., Горлов Н.И. – М.: Недра, 1986. – 168 с.
2. Шупов Л.П. Математические модели усреднения. / Шупов Л.П. – М.: Недра, 1978. – 287 с. – [Справочное пособие]
3. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров) / Капутин Ю.Е. – С.-Пб.: Недра, 2004. – 420 с.
4. Серый С.С., Дунаев В.А., Герасимов А.В. Автоматизация информационного обеспечения горного производства в ОАО «Лебединский ГОК». // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008, №3. –С.91-97.
5. Hustrulid W. Kuchta M. Open Pit Mine Planning & Design. - Rotterdam: A.A.Balkema, 1995.