

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ ГОДОВОМ ПЛАНИРОВАНИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

В работе разработана методика расчета возможных условных экономических потерь в зависимости от возможных реализаций плана горных работ. Обоснован метод получения коэффициентов важности критериев оценки годовых планов.

The paper results was developed the method for calculating the economic potential contingent losses depending possible implementations of the mining plan. Based methods of obtaining the coefficients of the importance of the evaluation criteria of annual plans.

У роботі розроблена методика розрахунку можливих умовних економічних втрат у залежності від можливих реалізацій плану гірничих робіт. Обґрунтовано метод отримання коефіцієнтів важливості критеріїв оцінки річних планів.

Вступление. Актуальность данной работы вызвана необходимостью инженерно-технических работников при планировании горных работ находить рациональное решение исходя из множества условий. В практике открытых горных работ эти условия формализуют в том числе и в качестве критериев оценки плана горных работ [1, 2].

Не зависимо от применяемых методов решения задачи планирования с учетом многих критериев оценки плана, существует необходимость их предварительного ранжирования, а при математической постановке задачи еще и определения значений так называемых весовых коэффициентов или коэффициентов важности.

Формулирование целей исследований. В зависимости от условий планирования, традиций предприятия и множества других трудно формализуемых причин годовое планирование горных работ может выполняться по отношению к календарному плану и текущему годовому плану горных работ исходя из разных позиций.

В этой связи было сформулировано три основных стратегии планирования:

1. Стратегия минимизации отклонения от календарного плана горных работ: учитываются директивные показатели и выполняется минимизация отклонения от календарного плана горных работ.

2. Стратегия компенсации отклонения от годового плана горных работ: учитываются директивные показатели и выполняется компенсация отклонений в годовых контурах.

3. Стратегия планирования горных работ без учета отклонений от календарного плана: учитываются только директивные показатели.

Кроме разных стратегий планирования горных работ [3] в практике существуют различного рода условия планирования, которые используются в качестве критериев оценки годовых планов.

Изложение основного материала. Исходя из содержания представленных выше стратегий в работе было выделено два типа условий и соответствующие им критерии – это директивные показатели плана горных работ, которые задаются руководством с верхних уровней, и условия, учитывающие отклонение от годового или календарного плана горных работ (рис. 1).

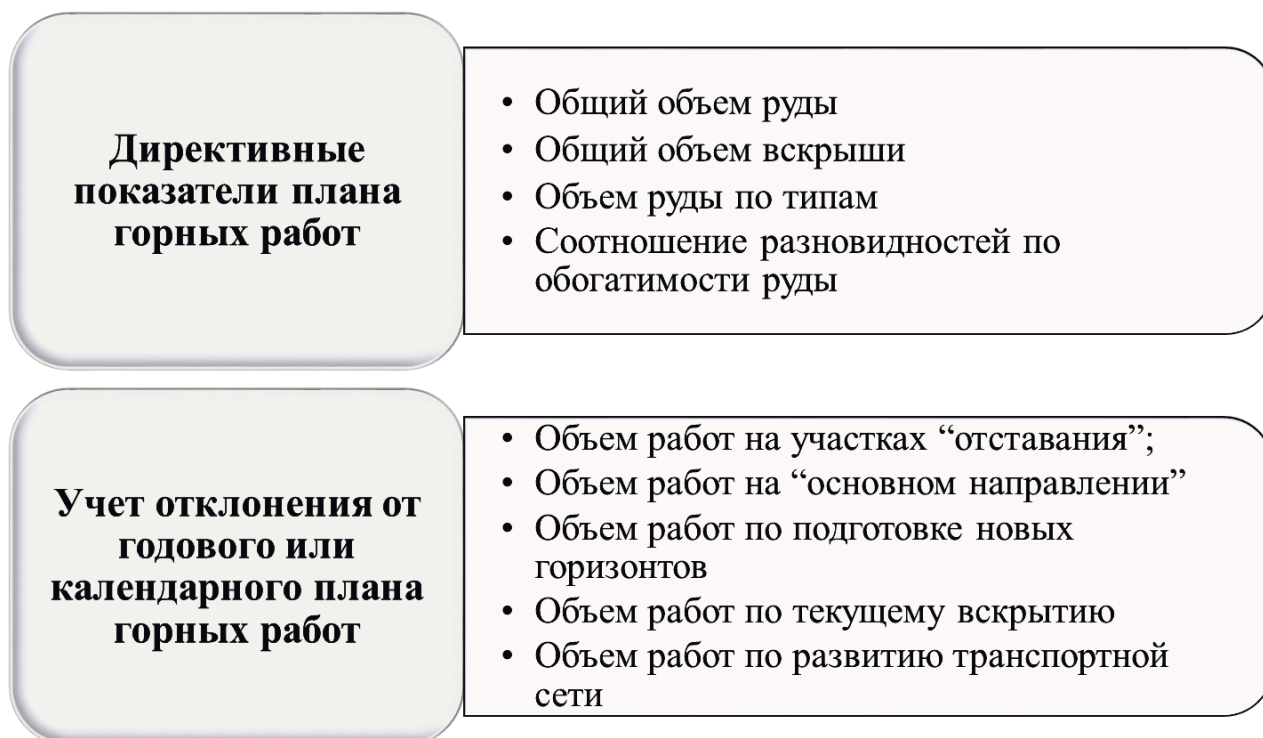


Рис. 1. Структуризация критериев оценки годового плана горных работ

Для указанных ранее стратегий представлены основные этапы процесса планирования с учетом возможной реализации плана горных работ (рис. 2 и рис. 3).

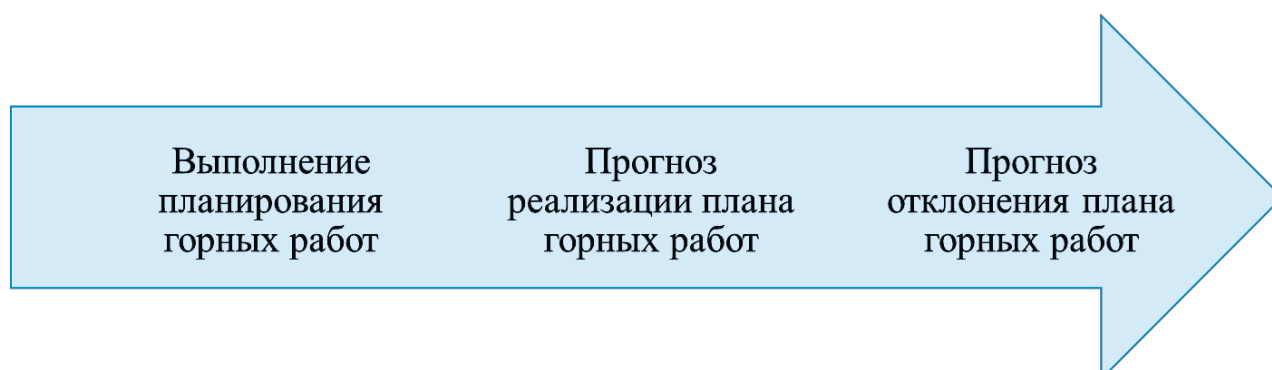


Рис. 2. Последовательность годового планирования для стратегий

Так, для стратегий, учитывающих отклонение от годового или календарного плана горных работ, предусмотрен прогноз реализации этого плана и про-

гноз возможного отклонения. При этом прогноз реализации плана осуществляется на основании текущих отклонений по сравнению с годовым или календарным планом горных работ.

Из данных, приведенных на рис. 3 для стратегии без учета отклонений соответствующий прогноз не выполняется.

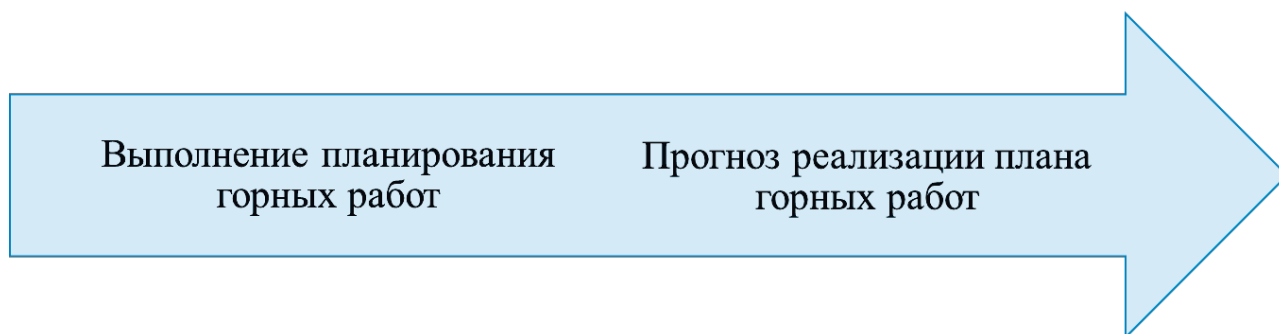


Рис. 3. Последовательность годового планирования для стратегий без учета отклонений

Для возможности прогноза отклонений планов горных работ была предложена методика расчета отклонений по указанным выше критериям оценки годового плана горных работ.

Известно, что, объем горной массы, который не был разработан, по сравнению с календарным планом, взаимосвязан с объемами работ, которые запланированы на будущие периоды. По этой причине, наряду с определением непосредственного отклонения от календарного плана, оцениваются условные технологические последствия этих отклонений, которые в совокупности будут иметь суммарную важность больше, чем выемка “отстающего” объема руды. В этой связи роль инженерно-технических работников состоит в установлении значения отклонения с учетом последующих отклонений, как показано на рисунке 4. При расчете отклонений от годового плана учитываются только “отстающие” объемы по указанным критериям оценки.

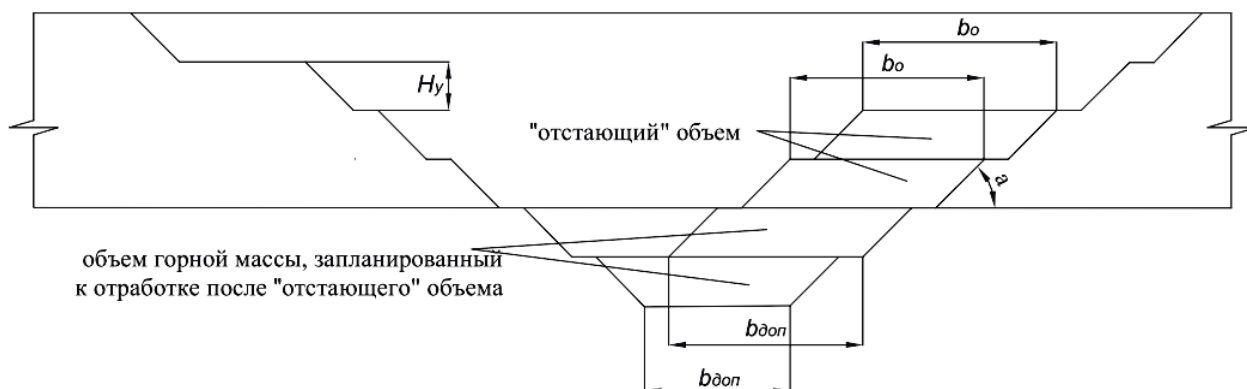


Рис. 4. Схема расчета отклонений объемов горной массы на “основном направлении” и участках “отставания”

Нижче приведені формули для розрахунку так называємого отстаючого об'єму горної маси і суммарного об'єму горної маси з урахуванням майбутніх періодів.

Указанні об'єми сумуються по всіх горизонтах.

Об'єм горних робіт, який не винят на так называємих ділянках "отстаєвання" можна визначити по формулі:

$$Q_o = \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_o \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad i = \overline{1, N} \quad (2)$$

де H_y^i - висота уступу на i -ом горизонті; b_o - ширина "отстаючого" об'єму; α - кут відкосу уступу; N - кількість горизонтів.

Загальний об'єм горних робіт, отриманий в результаті відхилення поточного положення від календарного плану з урахуванням майбутніх періодів визначається по формулі:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_o \cdot \operatorname{ctg} \alpha + \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_{\text{дон}} \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad i = \overline{1, N} \quad (3)$$

де $b_{\text{дон}}$ - ширина робочої площадки уступу, на якому знаходиться об'єм несучий додаткову вагу.

В разі відхилення від плану горних робіт, де "отстаючий" об'єм досягає дна кар'єру, останній буде причиною невыполнения робіт по поточному відкриттю.

Для забезпечення планової ширини дна кар'єру необхідно винести об'єм, рівний сумарному об'єму різниці по всіх горизонтах між плановим положенням фронту горних робіт і фактичним (рис. 5).

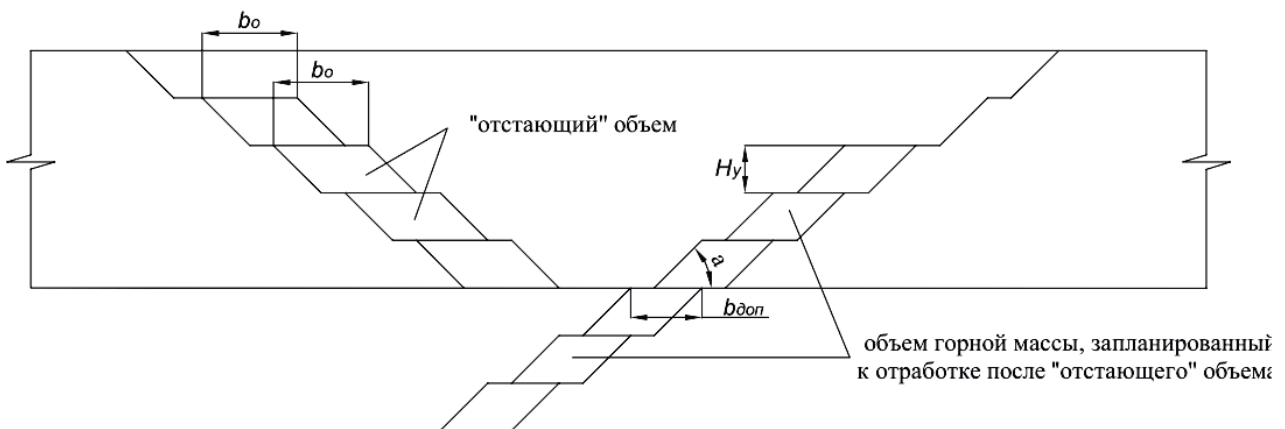


Рис. 5. Схема розрахунку відхилень об'ємів горної маси по поточному відкриттю

В разі якщо ширина робочої площадки на будь-якому уступі A_i буде виконувати вимогу: $A_i - b_o \geq A_{\text{min}}$, то видобуток можна виробляти тільки на тих уступах, які знаходяться нижче того, де виконується дане умову, якщо існує транспортна зв'язь до цього уступу, і немає інших причин для видобування об'єму, що знаходиться на верхніх горизонтах. Таке рішення прийма-

ется инженерно-техническими работниками при анализе положения горных работ с учетом будущих периодов.

“Отстающий” объем горной массы по текущему вскрытию рассчитывается так же, как и в предыдущем варианте.

В случае отклонения от календарного плана, где так называемый “отстающий” объем достигает дна карьера, то он и будет являться причиной невыполнения условия по обеспечению требуемых параметров ведения горных работ, таких как требуемая ширина дна карьера не будет достигнута.

Для обеспечения минимальной плановой ширины рабочей площадки на дне карьера необходимо разработать объем, равный суммарному объему разницы по всем горизонтам между плановым положением фронта горных работ и фактическим, который определяется по формуле:

$$Q_o = \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_o \cdot ctg \alpha, \quad i = \overline{1, N} \quad (4)$$

Общий объем горных работ, полученный в результате отклонения текущего положения от календарного плана с учетом будущих периодов можно определить по формуле:

$$Q_{общ} = \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_o \cdot ctg \alpha + \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_{дон} \cdot ctg \alpha, \quad i = \overline{1, N} \quad (5)$$

где $b_{дон}$ - ширина рабочей площадки уступа, на котором находится объем несущий дополнительную важность.

Аналогично рассчитывается отклонение по развитию транспортной сети. Следует отметить, что для возможности формализации оценки критериев, их необходимо привести к единой шкале. Т.е. учитывать одновременно отклонение по развитию транспортной сети в погонных метрах и “отстающий” объем в метрах кубических составляет сложность. При этом, эти параметры влияют на значения приоритетности критериев оптимальности и определять их значения необходимо.

Объем работ по развитию транспортной сети, который не проведен по сравнению с календарным планом можно определить по формуле:

$$L_o = \sum_{i=1}^N \left(L_{np}^i + \frac{L_{kp}^i}{\cos \alpha} \right), \quad i = \overline{1, N} \quad (6)$$

где L_{np}^i - длина прямолинейного участка трассы на i -ом горизонте; L_{kp}^i - длина проекции криволинейного участка трассы на i -ом горизонте.

Объем горных работ, полученный в результате отклонения работ по развитию транспортной сети от календарного плана с учетом будущих периодов можно определить по формуле:

$$Q_{отсм} = \sum_{i=1}^N H_y^i \cdot b_{дон} \cdot ctg \alpha, \quad i = \overline{1, N} \quad (7)$$

На рис. 6 показана схема для определения руды по типам и разновидностям с учетом уточненных геологических данных. Исходя из данных, приведенных на схеме (рис. 6) видно, что как правило, форма рудного тела не совпа-

дає з параметрами виемочного блоку, що влечє за собою необхідність розрахуна можливого відхилення об'ємів руди по типах і різновидностям по обогатимості.

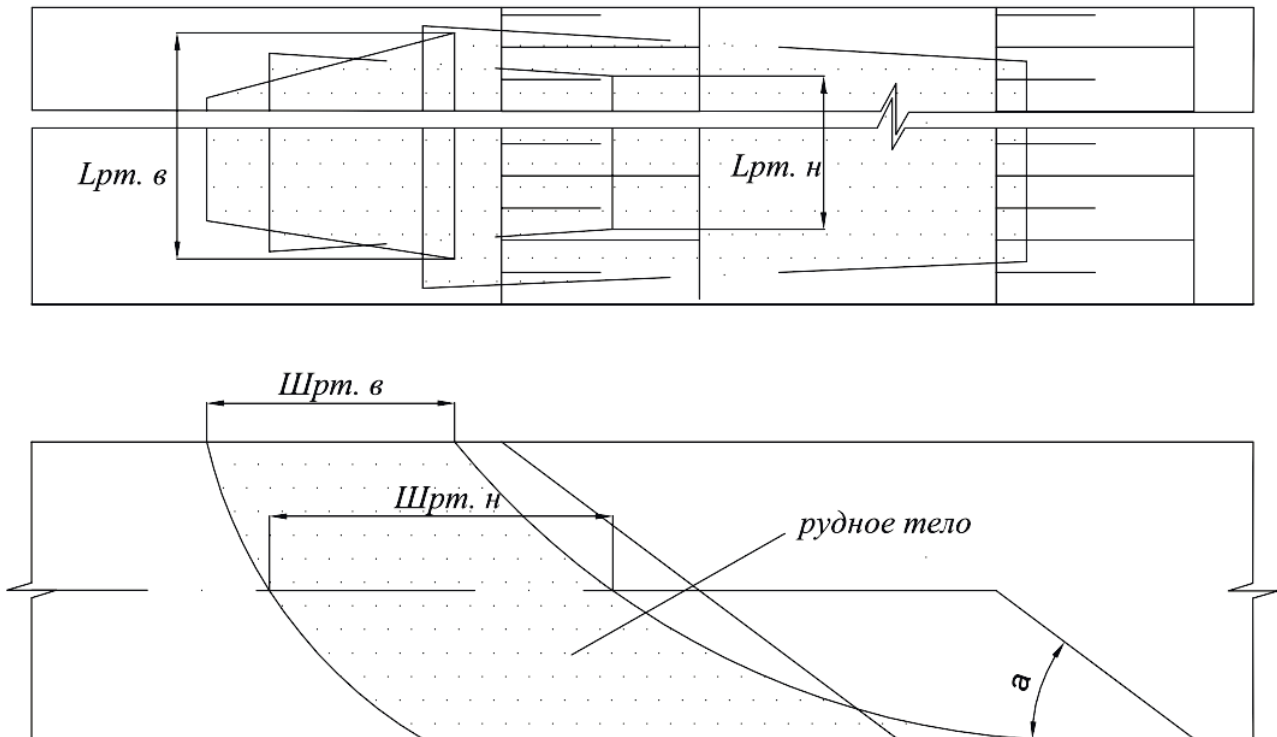


Рис. 6. Схема розрахуна об'ємів руди по типах і різновидностей по обогатимості

Нижє приведені формули по котрим здійснюється розрахунок відхилення об'єму руди по типах і різновидностям по обогатимості.

Розрахунок проводиться для всіх типів руд, різновидностях по обогатимості і горизонтів.

$$L_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}} = \frac{L_{\text{рт.в}} + L_{\text{рт.н}}}{2} \quad (8)$$

де $L_{\text{рт.в}}$, $L_{\text{рт.н}}$ - довжина рудного тіла відповідно по верху і понизу в межах фронту гірських робіт:

$$\text{Ш}_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}} = \frac{\text{Ш}_{\text{рт.в}} + \text{Ш}_{\text{рт.н}}}{2} \quad (9)$$

де $\text{Ш}_{\text{рт.в}}$, $\text{Ш}_{\text{рт.н}}$ - ширина рудного тіла відповідно по верху і понизу межах фронту гірських робіт.

Розрахунок відхилення об'єму по типах і співвідношення різновидностей по обогатимості руди від встановленого об'єму в календарному плані.

Приведемо розрахунок відхилення об'єму руди по типах:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}} \cdot H_y - \sum_{j=1}^M \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}ijgk}^{\text{факт.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}ijgk}^{\text{факт.}} \cdot H_y, \quad i = \overline{1, N} \quad (10)$$

где, $L_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}}$, $L_{\text{фр.}ijgk}^{\text{факт.}}$ - длина фронта горных работ i -ого типа j -ой разновидности по обогатимости руды находящейся на g -ом горизонте k -ой волне соответственно установленной в календарном плане и фактическая; $\text{Ш}_{\text{фр.}ijgk}^{\text{кал.пл.}}$, $\text{Ш}_{\text{фр.}ijgk}^{\text{факт.}}$ - ширина фронта горных работ i -ого типа j -ой разновидности по обогатимости руды находящейся на g -ом горизонте k -ой волне соответственно установленной в календарном плане и фактическая; H_y - высота уступа; N - количество типов руды; M - количество разновидностей руды по обогатимости; G - количество горизонтов; K - количество крутонаклонных слоев ("волн").

Расчет отклонения соотношения разновидностей по обогатимости.

$$\frac{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}i1gk}^{\text{кал.пл.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}i1gk}^{\text{кал.пл.}} \cdot H_y}{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}i2gk}^{\text{кал.пл.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}i2gk}^{\text{кал.пл.}} \cdot H_y} - \frac{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}i1gk}^{\text{факт.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}i1gk}^{\text{факт.}} \cdot H_y}{\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K L_{\text{фр.}i2gk}^{\text{факт.}} \cdot \text{Ш}_{\text{фр.}i2gk}^{\text{факт.}} \cdot H_y}, \quad i = \overline{1, N} \quad (11)$$

Для возможности одновременного использования перечисленных выше критериев оценки, их значения было приведено к единой шкале. Наиболее эффективной, по мнению авторов, является экономическая оценка указанных выше отклонений, которая будет определяться в качестве возможных условных потерь от невыполненного плана горных работ.

Разработка методики расчета условной эффективности от оптимизации каждого критерия заключается в условной экономической оценке отклонений текущего положения от календарного плана.

Условные потери по отклонению технологических параметров, характеризующих это отклонение, предлагается учитывать, как суммарные затраты на выемку текущего и будущего объемов горной массы. Таким образом, будет (может) будут учитываться не только затраты на выемку неотработанного объема, но и его технологическая значимость с учетом объемов плановых работ в будущих периодах. Владея такого рода информацией, технолог может определить, какую значимость имеет невыполненный объем, при этом оценка производится по одной денежной шкале, что представляет возможным сравнение значений отклонений между собой.

Таким образом, был выделен принцип определения условных экономических потерь, которые и будут основанием определения предпочтения одного критерия оптимальности над другим.

Ввиду условности рассчитываемых потерь, допускается, что инженерно-технический работник в состоянии установить связь в виде строго предпочтения: критерий больше сравниваемого или они равны. И не в состоянии с достаточной для расчета точностью определить коэффициент важности путем присвоения соответствующих значений коэффициентов.

В результате расчета отклонения с учетом условных потерь предоставляется возможность оценки критериев оптимальности. Рассчитанная условная эффективность по предложенной методике является основой для определения предпочтения одного критерия над другим, что является необходимым и достаточным условием для расчета коэффициентов важности.

Как видно из результатов расчета, значения условных потерь, а соответственно и значимость критериев оценки плана горных работ, отличаются. При этом в стратегиях с учетом отклонений от календарного или годового плана горных работ наблюдается влияние рассчитанных отклонений на приоритетность критериев. Результаты расчетов условных экономических потерь приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты расчетов условных экономических потерь

Критерий	Фактическое отклонение, тыс. т		Дополнительное отклонение, тыс. т		Условн. потери по стратегии 1, грн.	Условн. потери по стратегии 2, грн.	Условн. потери по стратегии 3, грн.
	<i>Руда тип 1</i>	<i>Руда тип 2</i>	<i>Руда тип 1</i>	<i>Руда тип 2</i>			
K_1	13600	13200	200	0	47520	23760	0
K_2	10900	10500	140	60	39600	39600	0
K_3	19850		150		16088	1733	0
K_4	250		10		2376	1188	0
K_5	26		5		1188	17820	0
K_6	59500		500		118800	59400	0
K_7	3000		0		0	0	0
K_8	7		0		0	0	0

K_1 - отклонение от требуемого объема руды по типам.

K_2 - отклонение от требуемого соотношения разновидностей руды по обогатимости.

K_3 - отклонение от требуемого объема вскрыши.

K_4 - объем работ по текущему вскрытию.

K_5 - объем работ по подготовке новых горизонтов.

K_6 - объем работ на "основном направлении".

K_7 - объем работ на участках "отставания".

K_8 - объем работ по развитию транспортной сети.

Наиболее распространенными методами расчета коэффициентов важности является метод попарного сравнения [4, 5], методы присвоения рангов и методы непосредственной оценки критериев с последующим присвоением значений коэффициентов важности.

Рассчитывать коэффициенты важности критериев оценки предлагается методом попарного сравнения критериев, который является наиболее простым и распространенным среди данного направления. Данный метод предусматривает установление строгих предпочтений: “один критерий важнее другого” или “критерии равны по важности”. Установить на сколько, один критерий важнее другого, в виду условности рассчитываемых потерь, является сложной задачей и в предлагаемой методике не требуется. Это преимущество является решающим в выборе метода расчета коэффициентов важности.

Таким образом, расчет коэффициентов важности рассчитывается по формуле на основании ранжированных критериев оценки, а не назначается технологом. Пример расчета коэффициентов важности методом попарного сравнения приведен в табл.2.

Таблица 2

Пример расчета коэффициентов важности методом попарного сравнения

Критерий	W_i		
	Стратегия	Стратегия	Стратегия
	1	2	3
K_1	0,875	0,750	1,000
K_2	0,750	0,875	0,875
K_3	0,625	0,500	0,750
K_4	0,500	0,375	0,625
K_5	0,375	0,625	0,500
K_6	1,000	1,000	0,375
K_7	0,250	0,250	0,250
K_8	0,250	0,250	0,125

Если $K_i \geq K_j$, то значение приоритетности $K_i = 1$, в обратном случае $K_i = 0$, где K_i, K_j - критерий оптимальности соответственно в i -ой строке и j -ом столбце.

Коэффициент важности критериев оптимальности рассчитывается по формуле:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^N R_{ij}}{N}, \text{ где } i = \overline{1, N} \quad (17)$$

где R_{ij} - значение предпочтения i -ого критерия оптимальности над j -ым;

N - количество критериев оптимальности.

Выводы.

1. Предложен стратегический подход к процессу годового планирования горных работ.
2. Разработана методика расчета возможных условных экономических потерь в зависимости от реализаций плана горных работ с учетом возможных стратегий процесса планирования. Это позволило реализовать обоснованное ранжирование критериев оценки этих планов.
3. Обоснован метод попарного сравнения критериев оценки годовых планов для расчета их коэффициентов важности. Полученные коэффициенты важности необходимы для дальнейшего этапа планирования горных работ, а именно для выбора рационального плана горных работ.

Список литературы

1. Резниченко С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности / С.С. Резниченко, А.А. Ашихмин. – М: Издательство МГГУ. – 1997. – 404 с.
2. Загубинога В.В., Панченко В.В. Аналіз методології планування гірничих робіт на залізорудних кар'єрах та шляхи її вдосконалення // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Випуск 28. – С. 271-275.
3. Панченко В.В. Перспективи розвитку концепції стратегічного управління для залізорудних кар'єрів / В.В. Панченко, В.В. Загубинога, // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників – 2014”. – Д.: Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, 2014. – С. 10-18.
4. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. – М.: Экономика, 1984. – 176 с.
5. Подиновский В.В. Качественная важность критериев и аддитивность многокритериальной структуры предпочтений // Открытое образование. – №2. – 2011. – с. 189-192.

*Рекомендована до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.
Надійшла до редакції 09.10.2014*

УДК 622.235

© О.О. Фролов, В.В. Котенко, Ю.О. Бритвин

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОТОЧКОВОГО ІНІЦІАТОРА З УРАХУВАННЯМ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В СВЕРДЛОВИННОМУ ЗАРЯДІ ВР

Обґрунтовано доцільність застосування багатоточкового способу ініціювання свердловинних зарядів для вибухового руйнування скельних гірських порід. Встановлено, що щільність енергетичного потоку при детонації свердловинного заряду прямо пропорційна сумарному імпульсу детонаційної хвилі, яка діє на стінки зарядної порожнини. Отримані розрахункові формули для визначення сумарного імпульсу багатоточкового і одноточкового ініціювання. Виконано порівняння імпульсу детонаційних хвиль послідовного та одночасного багатоточкового