

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых**

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ**  
**ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Методические указания к практическим занятиям*  
*для студентов магистратуры направления 15.04.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2021**

УДК 622.271 (073)

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *К.Р. Аргимбаев*. СПб, 2021. 28 с.

Изложены методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Современные направления в развитии технологии добычи полезных ископаемых».

Указания предназначены для студентов очной формы обучения направления подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств профиль» профиля «Системы автоматизированного управления в горном деле».

Научный редактор *Д.Н. Лигоцкий*

Рецензент к.т.н., *Д.В. Борисов*, (ООО «Берг-проект»)

## ВВЕДЕНИЕ

В современном направлении в развитии технологии добычи полезных ископаемых важную роль играет полнота извлечения и комплексное использование запасов минерального сырья.

В процессе изучения дисциплины «Современные направления в развитии технологии добычи полезных ископаемых» студент должен освоить методы обоснования проектных и организационных решений, которые обеспечат освоение месторождения без потерь основных и попутных полезных компонентов, бедных руд и пустых пород, которые могут быть использованы в качестве сырья любых видов производства.

Знакомство с методами расчета, которые учитывают возможности полного и качественного извлечения полезных ископаемых из недр, позволит оценить экономическую значимость комплексного использования недр.

В настоящих методических указаниях представлены некоторые задачи, решаемые в технологии добычи полезных ископаемых, имеющие целью максимально полное комплексное использование запасов месторождения полезного ископаемого.

### 1. ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛНОТЫ И КАЧЕСТВА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ИЗ НЕДР

При использовании прямого способа определения массы теряемого полезного ископаемого и массы засоряющих пород используют чертежи рабочих блоков с указанием положения контактов руд с пустыми породами (рисунок 1).

Балансовые запасы блока:

$$Q_{\sigma} = S_{\sigma} \cdot \gamma_{\text{ПИ}} \cdot l, \quad (1.1)$$

где  $S_{\sigma}$  - площадь сечения рудного тела (трапеции ABCD), м<sup>2</sup>;  $\gamma_{\text{ПИ}}$  - плотность полезного ископаемого, т/м<sup>3</sup>;  $l$  - длина рабочего блока, м.

В зависимости от направления падения контактов, как показано на рисунке 1, размеры потерь и засорения определяются формулами:

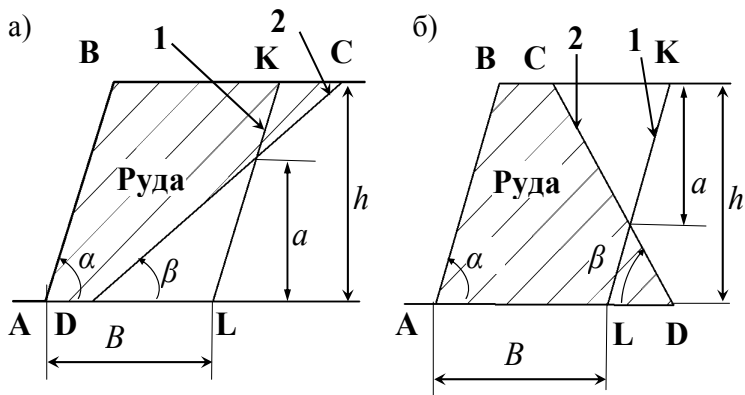


Рис.1. Схема поперечного сечения добычного блока

1 - граница блока по ширине; 2 - контакт;  $B$  - ширина выемочного блока;  $a$  - высота призмы засоряющих пород

а) при падении контакта в выработанное пространство (рисунок 1, а):

$$Q_{II} = \frac{(h-a)^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) \cdot \gamma_{III} \cdot l, \quad (1.2)$$

$$Q_3 = \frac{a^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) \cdot \gamma_3 \cdot l, \quad (1.3)$$

где  $Q_{II}$  - масса потерь, т;  $h$  - высота уступа, м;  $a$  - высота призмы прирезаемых пустых пород, м;  $\beta$  - угол падения контакта, град;  $\alpha$  - угол откоса уступа, град;  $\gamma_{III}$ ,  $\gamma_3$  - плотность полезного ископаемого и засоряющих пустых пород соответственно, т/м<sup>3</sup>;  $Q_3$  - масса засоряющих пород, т;

б) при падении контакта в сторону массива (рисунок 1, б)

$$Q_{II} = \frac{(h-a)^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) \cdot \gamma_{III} \cdot l, \quad (1.4)$$

$$Q_3 = \frac{a^2}{2} \cdot (\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) \cdot \gamma_3 \cdot l. \quad (1.5)$$

Коэффициент потерь - это доля теряемых балансовых запасов:

$$\Pi = \frac{Q_{\Pi}}{Q_{\sigma}} \cdot 100, \quad (1.6)$$

где  $Q_{\sigma}$  - балансовые запасы блока, т.

Коэффициент засорения:

$$\text{З} = \frac{Q_{\text{З}}}{Q_{\text{Д}}} \cdot 100, \quad (1.7)$$

где  $Q_{\text{Д}}$  - масса добываемого полезного ископаемого вместе с примешанными пустыми породами (АВКЛ11), т.

$$Q_{\text{Д}} = Q_{\sigma} - Q_{\Pi} + Q_{\text{З}}. \quad (1.8)$$

Коэффициент интегрального извлечения полезного компонента при добыче:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{III}} \cdot \varepsilon_{\alpha} = (1 - \Pi) \cdot (1 - \text{Р}), \quad (1.9)$$

где  $\varepsilon_{\text{III}} = 1 - \Pi$  - коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр, дол. ед;  $\varepsilon_{\alpha} = 1 - \text{Р}$  - коэффициент снижения качества сырой руды по сравнению с качеством балансовых запасов, дол. ед;  $\Pi$  и  $\text{Р}$  - коэффициенты потерь и засорения, дол. ед.

Коэффициент интегрального извлечения используется при определении рациональной ширины добычного блока на контактах рудных тел. Так как между потерями и засорением (кривые  $\Pi$  и  $\text{Р}$  на рисунке 2) существует обратная зависимость, то с перемещением положения границы блока изменение величины  $\varepsilon$  имеет явный максимум. Он и определяет ширину блока  $B$ , при которой извлечение полезных компонентов при добыче наибольшее (кривая  $\varepsilon$  на рисунке 2).

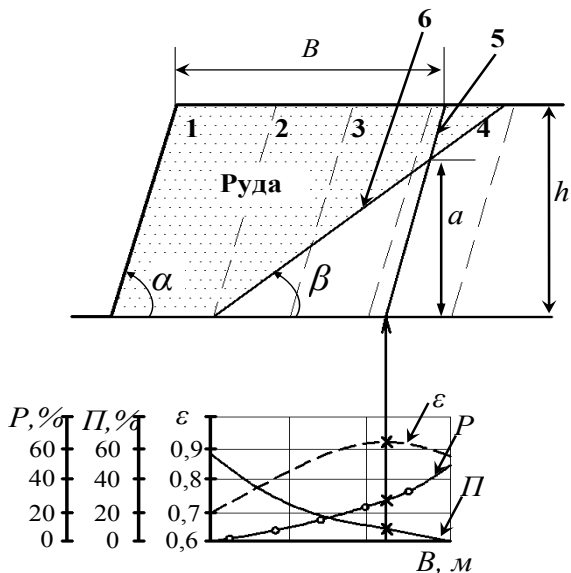


Рис.2. Схема к определению рациональной ширины блока  
 1,2,3,4 – намеченные варианты границ блока; 5 - рациональная граница блока; 6 -  
 контакт руды с породой;  $B$  - рациональная ширина блока.

Выше описанный способ обоснования размеров рабочего блока на контакте используется при условии добычи однокомпонентного полезного ископаемого и без учета изменения затрат на добычу при изменении ширины блока.

Для решения аналогичной задачи на карьерах комплексных месторождений используется показатель экономических последствий потерь и засорения:

$$\Xi = \frac{1 - \Pi_K}{1 - P_K} \cdot \left[ \alpha_{\bar{\sigma}(y)} \cdot \Pi_{осн} \cdot (1 - \Pi_K) \cdot (1 - P_K) - C_P \frac{1 - \Pi_K}{1 - P_K} \right], \quad (1.10)$$

где  $\Pi_K$  и  $P_K$  - коэффициенты соответственно потерь и засорения многокомпонентных полезных ископаемых;  $\alpha_{\bar{\sigma}(y)}$  - условное содержание полезных компонентов в балансовых запасах, дол. ед;  $\Pi_{осн}$  - цена 1 т основного полезного компонента, руб/т;  $C_P$  -

себестоимость добычи 1 т руды, руб/т.

Для многокомпонентных руд:

$$P_K = 1 - \frac{Q_D}{Q_B} \cdot \frac{\alpha_{D(y)}}{\alpha_{\bar{\sigma}(y)}}, \quad (1.11)$$

$$P_K = 1 - \frac{\alpha_{D(y)}}{\alpha_{\bar{\sigma}(y)}}, \quad (1.12)$$

где  $\alpha_{D(y)}$  - условное содержание в добытой сырой руде.

$$\alpha_{\bar{\sigma}(y)} = \alpha_{\bar{\sigma}(осн)} + \alpha_{\bar{\sigma}(нон)} \cdot n, \quad (1.13)$$

$$\alpha_{D(y)} = \alpha_{D(осн)} + \alpha_{D(нон)} \cdot n, \quad (1.14)$$

где  $\alpha_{\bar{\sigma}(осн)}$  и  $\alpha_{\bar{\sigma}(нон)}$  - содержание в балансовых запасах соответственно основного и попутного полезного ископаемого, дол.ед;  $\alpha_{D(осн)}$  и  $\alpha_{D(нон)}$  - то же в добытой руде, дол.ед;  $n$  - коэффициент приведения попутного компонента к основному.

$$n = \frac{Ц_{ПОП} - C_{ПОП}}{Ц_{ОСН} - C_{ОСН}}, \quad (1.15)$$

где  $Ц_{ПОП}$  и  $Ц_{ОСН}$  - цены 1 т соответственно попутного и основного компонентов в сырой руде, руб;  $C_{ПОП}$  и  $C_{ОСН}$  - затраты на 1 т соответственно попутного и основного полезного компонента, руб.

Затраты в расчете на 1 т компонентов:

$$C_{ПОП} = \frac{C_P}{\alpha_{\bar{\sigma}(нон)}}. \quad (1.16)$$

$$C_{ОСН} = \frac{C_P}{\alpha_{\bar{\sigma}(осн)}}. \quad (1.17)$$

Оптимальная ширина блока определяется максимальной

величиной показателя  $\mathcal{E}$  при рассмотрении нескольких вариантов положения границы блока на обрабатываемом контакте (рисунке 3).

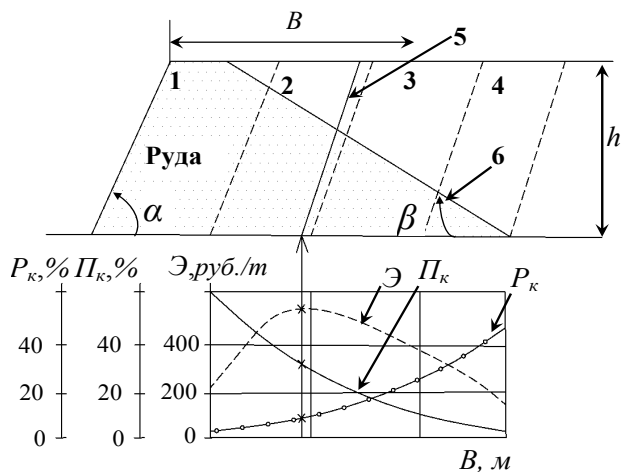


Рис.3. Схема к определению рациональной ширины блока  
1,2,3,4 - варианты границ блока; 5 - рациональная граница блока; 6 - контакт руды с породой;  $B$  - рациональная ширина блока

## 2. ИЗВЛЕКАЕМАЯ ЦЕННОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

В технико-экономических обоснованиях проектных решений разработки месторождений полезных ископаемых в качестве исходного экономического показателя используют извлекаемую ценность полезного ископаемого. Это стоимость полезных компонентов, извлекаемых из 1 т полезного ископаемого при его добыче и переработке (обогащении).

$$Z = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot \alpha_i \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_{пер.i}) - C, \quad (2.1)$$

где  $C_i$  - цена 1 т  $i$ -го полезного компонента в концентрате, руб/т;  
 $\alpha_i$  - содержание  $i$ -го полезного компонента в балансовых запасах полезного ископаемого, дол.ед;  
 $\varepsilon_i$  - интегральный коэффициент



извлечения полезного ископаемого из недр, дол.ед;  $\varepsilon_{пер.i}$  - коэффициент извлечения  $i$ -го полезного компонента при переработке, дол.ед;  $n$  - число извлекаемых полезных компонентов;  $C$  - себестоимость добычи и переработки 1 т полезного ископаемого, руб.

В технико-экономических сравнениях различных вариантов технологических схем разработки месторождения можно использовать показатель извлекаемой ценности без учета затрат на переработку.

Тогда:

$$Z = \sum_{i=1}^n (\Pi_i \cdot \alpha_i \cdot \varepsilon_i) - C_p, \quad (2.2)$$

где  $C_p$  - себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого, руб/т;  $\Pi_i$  - цена 1 т  $i$ -го полезного компонента в сырой руде, руб/т.

Для однокомпонентного полезного ископаемого извлекаемая ценность может быть определена:

$$Z = (\Pi - C_{Me}) \cdot \alpha \cdot \varepsilon, \quad (2.3)$$

где  $C_{Me}$  - затраты на добычу в расчете на 1 т полезного компонента в сырой руде (себестоимость 1 т полезного компонента в сырой руде), руб/т.

В этом случае:

$$C_{Me} = \frac{C_p}{\alpha \cdot \varepsilon}. \quad (2.4)$$

Основным полезным компонентом комплексной залежи является тот, который обеспечивает наибольшую извлекаемую ценность полезного ископаемого. Для выделения основного компонента можно воспользоваться ценностью руды по каждому полезному компоненту отдельно согласно формуле (1.1). Основным является тот компонент, с которым ценность руды наибольшая. Остальные компоненты, при соответствии их промышленному содержанию, считаются попутными.

**Пример.** Балансовые запасы залежи имеют среднее содержание меди 0,6 % и железа 30 %. Извлечение их из недр характеризуется коэффициентами интегрального извлечения 0,9 и 0,95 соответственно. Цена железа в ископаемом 1700 руб/т, меди – 11200 руб/т. Себестоимость 1 т руды 60 руб/т.

Затраты на добычу в расчете, на 1 т железа, содержащегося в руде:

$$C_{Fe} = \frac{60}{0,3 \cdot 0,95} = 210,5.$$

в расчете на 1 т меди:

$$C_{Cu} = \frac{60}{0,006 \cdot 0,9} = 11111.$$

Извлекаемая ценность руды с указанным содержанием железа:

$$Z_{Fe} = 0,3 \cdot 0,95 \cdot (1700 - 210,5) = 424,5.$$

$$Z_{Cu} = 0,006 \cdot 0,9(11200 - 11111) = 42,8.$$

Железо является основным полезным компонентом, так как

$$Z_{Fe} > Z_{Cu}.$$

Общая ценность руды при условии извлечения железа и меди:

$$Z = (1700 \cdot 0,3 \cdot 0,95 + 11200 \cdot 0,006 \cdot 0,9) - 60 = 485.$$

Таким образом, руда залежи является железной с попутной медью и имеет извлекаемую ценность 485 руб/т.

### **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗАЛЕЖИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕДР**

При определении границ залежи многокомпонентных полезных ископаемых, а также при обосновании вовлечения в разработку бедных руд, побочных видов минерального сырья,

используется ценность добываемых продуктов:

$$Z = \Pi \cdot \alpha \cdot \varepsilon \text{ (для однокомпонентных руд)}, \quad (3.1)$$

$$Z = \Pi_{осн} \cdot \alpha_y \cdot \varepsilon_{осн} \text{ (для многокомпонентных руд)}, \quad (3.2)$$

где  $\Pi$  ( $\Pi_{осн}$ ) - цена 1 т полезного компонента (основного) в руде, руб/т;  $\alpha$  ( $\alpha_y$ ) - среднее содержание компонента (условное), дол.ед;  $\varepsilon$  ( $\varepsilon_{осн}$ ) - интегральный коэффициент извлечения полезного компонента (основного), дол.ед.

Последовательно увеличивая размеры залежи за счет прирезки новых участков, определяют среднее содержание и соответствующую ценность руды. При этом прирезаемые залежи используют в убывающем по содержанию порядке.

Критерием рациональности прирезки новых, более бедных, участков является условие:

$$Z > C, \quad (3.3)$$

где  $C$  - себестоимость добычи и обогащения 1 т руды, руб/т.

Невыполнение этого условия в очередном рассматриваемом варианте означает, что экономически целесообразными границами залежи являются границы предыдущего варианта.

#### **4. ГРАНИЧНЫЕ КОНТУРЫ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО**

Качество полезного ископаемого, как правило, неравномерно распределяется по залежи. Часто содержание полезных компонентов убывает или, наоборот, увеличивается с глубиной. Соответственно изменяется ценность полезного ископаемого, которая, в конечном счете, определяет рентабельность добычи. Поэтому граничная глубина карьера тесно связана с качеством полезного ископаемого.

При проектировании геометрических параметров погашаемого карьера с учетом ценности полезного ископаемого используют методики анализа изменения качественно-геометрических показателей карьерного поля с увеличением предельной глубины. К числу таких показателей относятся

качественный коэффициент горной массы  $K_{ГМ}$  ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) и ценность 1 т горной массы  $\omega$  (руб/т).

#### 4.1. Определение контуров карьера по контурному коэффициенту горной массы

Качественным коэффициентом горной массы ( $K_{ГМ}$ ) является объем горной массы, приходящийся на один рубль ценности полезного ископаемого:

$$K_{ГМ} = \frac{1 + K}{\gamma_{ПИ} \cdot Z}, \quad (4.1)$$

где  $K$  - коэффициент вскрыши,  $\text{м}^3/\text{м}$ ;  $\gamma_{ПИ}$  - плотность полезного ископаемого,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;  $Z$  - ценность полезного ископаемого, руб/т.

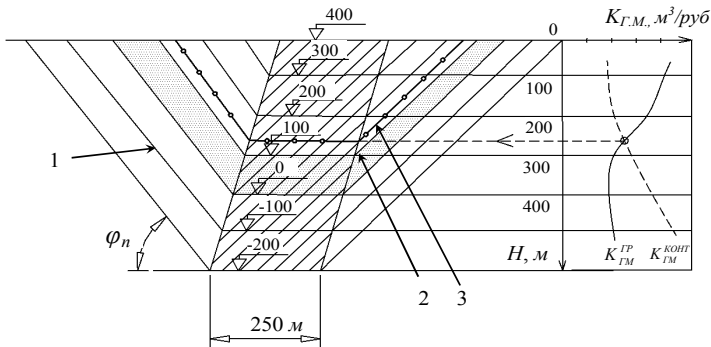


Рис.4. Схема поперечного сечения залежи и карьерного поля к обоснованию предельных контуров карьера

- 1 - расчетные контуры бортов погашенного карьера при различной глубине; 2 - один из контурных слоев; 3 - предельный контур карьера, для которого

$$K_{ГМ}^{ГР} = K_{ГМ}^{КОНТ}; \quad \varphi_n - \text{угол погашения борта карьера}$$

Контурный коэффициент горной массы ( $K_{ГМ}^{КОНТ}$ ) - объем контурного слоя, приходящийся на единицу средней ценности полезного ископаемого этого слоя (рисунок 4):

$$K_{GM}^{КОИТ} = \frac{1 + K^{КОИТ}}{\gamma_{nu} \cdot Z}, \quad (4.2)$$

где  $K^{КОИТ}$  - контурный коэффициент вскрыши,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Для удлиненного карьера (у которого длина в несколько раз больше ширины):

$$K^{КОИТ} = \frac{F_{вскр}}{F_{n.u}}, \quad (4.3)$$

где  $F_{вскр}$  и  $F_{n.u}$  – площади занимаемые в поперечном сечении контурного слоя соответственно вскрышей и полезным ископаемым,  $\text{м}^2$ .

*Граничный коэффициент горной массы* ( $K_{GM}^{ГР}$ ) - предельно-максимальная по экономическим соображениям величина объема горной массы на единицу ценности полезного ископаемого:

$$K_{GM}^{ГР} = \frac{1 + K^{ГР}}{\gamma_{nu} \cdot Z}, \quad (4.4)$$

где  $K^{ГР}$  - предельно-допустимый (граничный) коэффициент вскрыши.

Граничный коэффициент вскрыши:

$$K^{ГР} = \frac{(Z_0 - C_0) - (Z_n - C_n)}{C_g}, \quad (4.5)$$

где  $Z_0$ ,  $Z_n$  - минимально-допустимая ценность полезного ископаемого соответственно для открытого и подземного способов добычи, руб/т;  $C_0$ ,  $C_n$  - себестоимость добычных работ для открытого и подземного способов добычи, руб/т;  $C_g$  - себестоимость вскрышных работ, руб/т.

Критерий рациональности прирезки нового контурного слоя:

$$K_{GM}^{ГР} < K_{GM}^{КОИТ}. \quad (4.6)$$

Равенство  $K_{GM}^{GP} = K_{GM}^{KONT}$  указывает предельную глубину и, следовательно, предельные контуры карьера (на рисунке 4 точка пересечения графиков изменения коэффициентов вскрыши с глубиной карьера).

#### 4.2. Определение контуров карьера по текущей ценности горной массы (ЦГМ)

Как и коэффициент горной массы ценность единицы горной массы (ЦГМ) является качественно-геометрическим показателем карьерного поля. Текущая ЦГМ характеризует ценность горной массы эксплуатационного слоя карьерного поля:

$$\omega_T = \frac{Z}{1 + K_T}. \quad (4.7)$$

С увеличением текущей глубины карьера показатель  $\omega_T$  изменяется в соответствии с объемами полезного ископаемого и вскрышных пород эксплуатационного слоя, а также качества полезного ископаемого (рисунок 5).

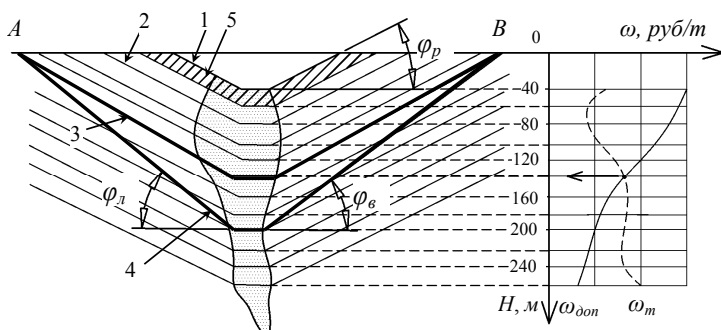


Рис.5. Схема к определению контуров карьера по показателю ценности горной массы

1 - контур карьера к концу строительства; 2 - текущие контуры рабочих бортов карьера; 3 - предельный текущий (рабочий) контур бортов; 4 - предельный контур погашения; 5 - первый эксплуатационный слой;  $\varphi_p$  - угол откоса рабочего борта;  $\varphi_L, \varphi_B$  - углы откосов погашенных бортов карьера по лежачему и висячему бокам залежи соответственно

Минимально-допустимым (граничным) показателем ЦГМ является:

$$\omega_{ГР} = \frac{Z}{1 + K_{ГР}}, \quad (4.8)$$

где  $K_{ГР}$  - граничный коэффициент вскрыши, т/т.

Граничный коэффициент вскрыши - это экономически обоснованное предельное количество вскрышных пород, приходящихся на единицу полезного ископаемого:

$$K_{ГР} = \frac{C_{Доп} - C_O}{C_B}, \quad (4.9)$$

где  $C_{Доп}$  - предельно-допустимая себестоимость полезного ископаемого по условию рентабельности его разработки, руб/т;  $C_O$  - себестоимость добычных работ, руб/т;  $C_B$  - себестоимость вскрышных работ, руб/т.

Максимально -допустимая себестоимость:

$$C_{Доп} = Z - C, \quad (4.10)$$

где  $C$  - затраты на переработку полезного ископаемого, руб/т.

Условием рациональности прирезки нового текущего эксплуатационного слоя является:

$$\omega_T > \omega_{ГР}. \quad (4.11)$$

Очередной прирезаемый эксплуатационный слой, для которого  $\omega_T > \omega_{ГР}$ , включать в текущие контуры карьера нерационально и предельной текущей глубиной карьера можно считать глубину предыдущего слоя. Контуры откосов этого слоя указывают ширину карьере поверху: точки А и В на рисунке 5 Линии, проведенные из этих точек под углом погашения бортов ( $\phi_L, \phi_B$ ), являются предельным контуром погашенного карьера для рассматриваемого сечения.

## ЗАДАЧИ

**Задача 1. Определение рациональной ширины рабочего блока при отработке контакта однокомпонентной залежи.**

На рисунке 6 поперечного сечения рабочего уступа указано положение контакта однокомпонентной руды и пустых пород. Плотность пустых пород в зависимости от номера варианта задачи  $2,6 + 0,02 \cdot N_{вар}$ , т/м<sup>3</sup>; плотность полезного ископаемого – 3,5 т/м<sup>3</sup>, длина рабочего блока  $(150 + N_{вар})$ , м, где  $N_{вар}$  - номер варианта по указанию преподавателя.

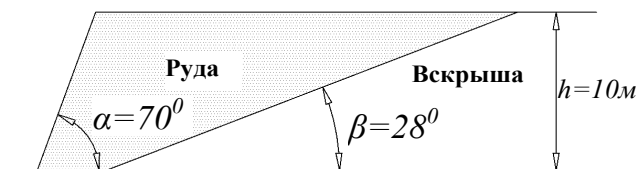


Рис.6. Схема поперечного сечения рабочего уступа

Требуется определить рациональную ширину взрывного блока по условию максимальной величины интегрального извлечения полезного компонента из недр. Результаты расчетов представить в виде таблицы 1, графиков изменения показателей потерь, засорения и интегрального коэффициента извлечения (см. рисунок 2) и вывода о рациональной ширине блока.

Таблица 1

**Расчет интегрального коэффициента извлечения при добыче**

Номер границы ширины блока	$Q_b,$ т	$Q_{П},$ т	$Q_z,$ т	$Q_d,$ т	П, дол. ед.	Р, дол. ед.	$\epsilon,$ дол. ед.
1							



### Последовательность решения задачи

1. Начертить поперечное сечение рабочего уступа в масштабе 1:500 и наметить четыре варианта положения границ блока по его ширине: без засорения, без потерь и два промежуточных положения (рисунок 2).

2. Рассчитать объем балансовых запасов полезного ископаемого блока  $Q_6$ .

3. Для каждого варианта ширины блока замерить высоту призмы прирезаемых пустых пород; рассчитать массу теряемой руды  $Q_{II}$ , массу засоряющих пород  $Q_3$ , объем добытой сырой руды, коэффициенты потерь  $\Pi$ , засорения  $\text{З}$ , интегрального извлечения.

4. Построить график изменения коэффициента интегрального извлечения  $\varepsilon$  с увеличением ширины блока  $B$  и определить рациональную ширину, которая соответствует его максимальному значению.

### Задача 2. Определение рациональной ширины рабочего блока при отработке контакта многокомпонентной руды.

Определить рациональную ширину взрывного блока по условию максимальной величины показателя экономических последствий потерь и засорения. Поперечное сечение блока представлено на рисунке 7.

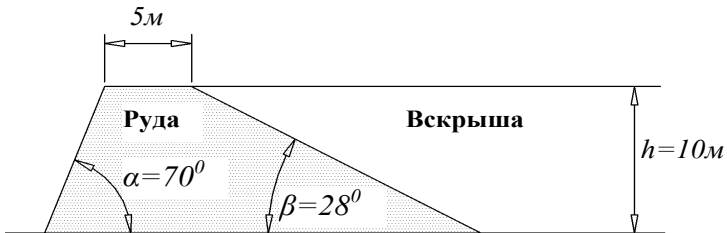


Рис. 7. Поперечное сечение рабочего уступа

Плотность медно-цинковой руды  $4,5 \text{ т/м}^3$ , плотность пустых пород  $(2,8 + 0,02 \cdot N_{вар}) \text{ т/м}^3$ , длина рабочего блока  $(200 + N_{вар}) \text{ м}$ , где  $N_{вар}$  - номер варианта задачи по указанию преподавателя. Со-

держание полезных компонентов в руде: меди - 1,2 %, цинка – 4 %.  
Цена 1 т меди в сырой руде - 20000 руб, цинка - 10000 руб. Основной компонент - медь.

*Последовательность решения задачи*

1. Начертить поперечное сечение уступа с контактом руд и пород в масштабе 1:500 и обозначить четыре варианта границ блока по ширине (1-4, рисунок 2).

2. Рассчитать объем балансовых запасов блока  $Q_b$ .

3. Рассчитать условное содержание полезных компонентов в балансовых запасах  $\alpha_{b(y)}$ .

4. Для каждого варианта ширины блока измерить высоту призмы засоряющих пород и рассчитать массу теряемой руды  $Q_{II}$ , массу засоряющих пород  $Q_3$ , объем добываемой сырой руды  $Q_D$ .  
Результаты расчетов занести в таблицу 2.

5. Рассчитать себестоимость 1 т меди и цинка в сырой руде  $C_{Cu}$  и  $C_{Zn}$ , коэффициент приведения попутного цинка к основной меди  $n$  и условное содержание полезных компонентов в балансовых запасах руды  $\alpha_{b(y)}$ .

6. Для каждого варианта ширины блока определить содержание в добытой руде меди  $\alpha_{D(Cu)}$ , цинка  $\alpha_{D(Zn)}$  с учетом потерь руды и ее засорения и условное содержание этих полезных компонентов  $\alpha_{D(y)}$ .

7. Определить коэффициенты потерь  $P_K$  и засорения  $R_K$  комплексной руды.

8. Рассчитать экономические последствия потерь и засорения  $\Delta$  для каждого варианта границы блока. По результатам расчета построить график изменения этой величины. По положению вершины кривой графика определить рациональную ширину блока.

Все расчеты следует последовательно заносить в таблице 2.

Таблица 2

**Расчет экономических последствий потерь и засорения комплексной медно-цинковой руды**

Номер варианта ширины блока	$Q_б$	$Q_{П}$	$Q_3$	$Q_D$	$\alpha_{б(Cu)}$	$\alpha_{б(Zn)}$	$C_{Cu}$	$C_{Zn}$
	т	т	т	т	дол. ед.	дол. ед.	руб/т	руб/т
Номер варианта ширины блока	$n$	$\alpha_{б(y)}$	$\alpha_{D(Cu)}$	$\alpha_{D(Zn)}$	$\alpha_{D(y)}$	$P_K$	$P_K$	$\Xi$
		дол. ед.	дол. ед.	дол. ед.	дол. ед.	дол. ед.	дол. ед.	руб/т

**Задача 3. Расчет извлекаемой ценности комплексной руды и выделение основного полезного компонента.**

Определить извлекаемую ценность пятикомпонентной руды и выделить основной полезный компонент. Среднее содержание компонентов, их цены в сырой руде и коэффициенты извлечения при добыче указаны в таблице 3 для базового варианта задачи.

Содержание компонентов для варианта задания (номер которого указывает преподаватель индивидуально) определяется

$$\alpha_{Cu} = \alpha_{баз} + 0,01 \cdot N_{вар},$$

$$\alpha_{Fe} = \alpha_{баз} + 0,1 \cdot N_{вар},$$

$$\alpha_{Pb} = \alpha_{баз} + 0,01 \cdot N_{вар},$$

$$\alpha_{Zn} = \alpha_{баз} + 0,01 \cdot N_{вар},$$

$$\alpha_{Mo} = \alpha_{баз} + 0,001 \cdot N_{вар},$$

где  $\alpha_{баз}$  - содержание полезного компонента в базовом варианте, %;  
 $N_{вар}$  - номер варианта задания.

Таблица 3

**Исходные данные базового варианта задачи**

Полезные компоненты	Содержание, %	Цена 1 т полезного компонента в руде, руб/т	Коэффициент извлечения при добыче
<i>Cu</i>	0,4	20000	0,91
<i>Zn</i>	3,0	9500	0,85
<i>Pb</i>	5,0	10000	0,87
<i>Mo</i>	0,06	150000	0,86
<i>Fe</i>	30,0	4000	0,92

*Последовательность решения задачи*

1. Определить затраты  $C_{Me}$  на 1 т каждого полезного компонента, содержащегося в сырой руде, при условии отсутствия прочих полезных компонентов.

2. Рассчитать извлекаемую ценность руды по каждому полезному компоненту  $Z_{Me}$  (как для однокомпонентной руды).

3. Сравнением результатов расчета выделить основной компонент, у которого  $Z_{Me}$  наибольшая (таблица 4).

4. Рассчитать общую извлекаемую ценность многокомпонентной руды.

В заключение дать название руды и указать попутные полезные компоненты.

Таблица 4

**Результаты расчетов извлекаемой ценности руды**

Полезные компоненты	$\alpha$ , %	$C_{Me}$ , руб/т	$C_{Me}$ , руб/т	$Z_{Me}$ , руб/т	Категория полезного компонента (основной, попутный)
1					
2					
3					
4					
5					
Общая извлекаемая ценность					

**Задача 4. Определение границ залежи многокомпонентной руды.**

Найти граничный контур многокомпонентной залежи в ее поперечном сечении по условию экономической целесообразности вовлечения в разработку бедных руд. Поперечное сечение месторождения на рисунке 8 включает восемь участков с убывающим средним содержанием полезных компонентов.

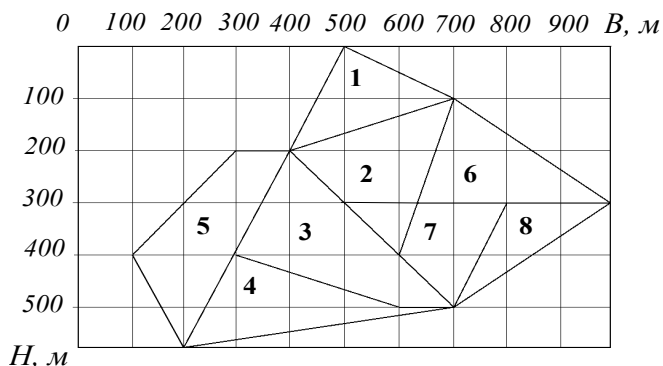


Рис.8. Поперечное сечение месторождения, разделенного на участки 1-8

Условное среднее содержание полезных компонентов для выделенных участков залежи 1-8 зависит от номера варианта задачи ( $N_{вар}$ ), выданного преподавателем (таблица 5):

Таблица 5

**Исходные данные по условному среднему содержанию полезного компонента по участкам**

Номер участка	Условное содержание полезных компонентов, % (округлить до десятых)	Длина по простираанию участков залежи, м
1	$4 + 0,03 \cdot N_{вар}$	400
2	$2 + 0,03 \cdot N_{вар}$	600
3	$0,5 + 0,02 \cdot N_{вар}$	600
4	$0,4 + 0,01 \cdot N_{вар}$	300

Окончание табл. 5

Номер участка	Условное содержание полезных компонентов, % (округлить до десятых)	Длина по простираению участков залежи, м
5	$0,3 + 0,01 \cdot N_{вар}$	500
6	0,3	300
7	0,3	400
8	0,3	300

Цена основного полезного компонента в сырой руде (меди) - 40600 руб/т. Коэффициент извлечения руды при добыче - 0,92.

*Последовательность решения задачи*

1. Начертить поперечное сечение месторождения в масштабе 1:100000.

2. Занести в таблице 6 варианты контуров залежи, которые последовательно включают в себя по одному вновь прирезаемому участку. Все последующие замеры и результаты расчетов занести в эту таблицу.

Таблица 6

**Ценность руды по вариантам границ залежи**

Вариант	Участки залежи	Площадь участков, $F, м^2$	Содержание, $\alpha, \%$	Среднее Содержание, $\bar{\alpha}, \%$	Цена меди в руде, Ц, руб/т	Ценность руды, Z, руб/т	Примечание ( $z < c$ или $z > c$ )
1	1						
2	1						
	2						
...							
6	1						
	2						
	3						

3. Замерить площадь каждого участка залежи и рассчитать средневзвешенное условное содержание полезных компонентов  $\bar{\alpha}$  для всех намеченных вариантов контуров залежи.

4. Определить ценность руды для каждого варианта границ залежи.

Сравнить полученную ценность 1 т руды с затратами на ее добычу и выделить штриховкой на чертеже те участки залежи, разработка которых является экономически

**Задача 5. Определение предельных контуров карьера по качественному коэффициенту горной массы.**

Определить предельные контуры карьера в поперечном сечении с учетом изменений качественного коэффициента горной массы карьерного поля.

Исходные параметры залежи указаны на рисунке 9. Для решения задачи требуется выполнить чертеж в масштабе 1:5000 или 1:10000, наметив положение предельных откосов бортов карьера при различной его глубине  $H$ . Промежуточные и конечные результаты решения задачи отражаются на этом же чертеже. Исходные данные для расчетов по вариантам - в таблице 7. Плотность полезного ископаемого  $3 \text{ т/м}^3$ . Угол откоса погашенного борта карьера  $\varphi_n = 40^\circ + 0,2 \cdot N_{\text{вар}}$ , угол падения залежи  $\beta = 70^\circ + N_{\text{вар}}$  (где  $N_{\text{вар}}$  - номер варианта задачи).

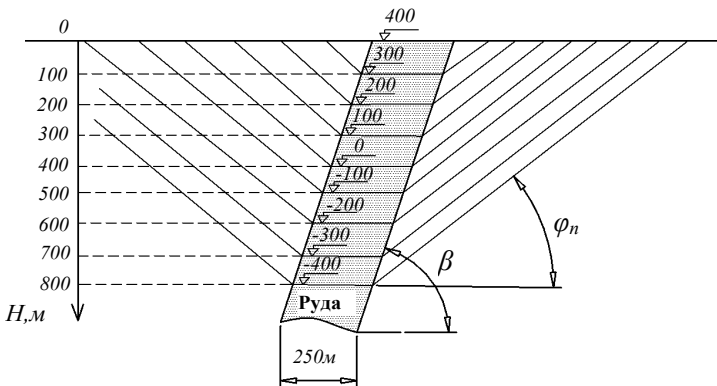


Рис.9. Схема поперечного сечения залежи  
 Минимально-допустимая извлекаемая ценность руды при открытой разработке  
 114 руб/т, при подземной – 178 руб/т

Таблица 7

## Исходные данные к задаче 5

Номер контурного слоя	Горизонт, м	Извлекаемая ценность по слоям, $Z$ , руб/т	Себестоимость добы- чи, руб/т		Себестоимость вскрышных работ, $C_B$ , руб/т
			открытой, $C_0$	подземной, $C_n$	
1	400 – 300	172	33	112	24
2	300 – 200	187	34	122	25
3	200 – 100	224	35	142	26
4	100 – 0	226	37	162	27
5	0 – (-100)	178	38	180	28
6	(-100) – (-200)	200	40	220	30

*Последовательность решения задачи*

1. Начертить схему поперечного сечения месторождения в масштабе 1:5000 или 1:10000.

2. На схеме построить варианты контуров погашения карьера через каждые 100 м глубины и с углом погашения  $\varphi_n$  (контурные слои).

3. Для каждого контурного слоя измерить площади, занятые вскрышными породами  $F_e$  и полезным ископаемым  $F_{ni}$  и определить контурные коэффициенты вскрыши  $K^{КОИТ}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Все замеры и последующие результаты расчетов следует заносить в таблицу 8.

4. Рассчитать послойные извлекаемую ценность руды  $Z$ , граничные  $K^{ГР}$ ,  $K_{ГМ}^{ГР}$  и контурные  $K_{ГМ}^{КОИТ}$  коэффициенты горной массы.

5. Построить графики изменения граничного и контурного коэффициентов горной массы с увеличением глубины  $H$



погашенного карьера.

6. Найти оптимальную глубину погашенного карьера по условию  $K_{ГМ}^{ГР} = K_{ГМ}^{КОНТ}$  (на глубине пересечения графиков) и контуры бортов.

7. В выводах по результатам расчетов указать предельную глубину карьера и размеры его поверху и по дну.

Таблица 8

Результаты расчетов коэффициентов горной массы по слоям

Номер кон-турно-го слоя	Себестоимость, руб/т			Z, руб/т	F <sub>в</sub> , м <sup>2</sup>	F <sub>ни</sub> , м <sup>2</sup>	K <sup>КОНТ</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	K <sup>ГР</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	K <sup>ГР</sup> <sub>ГМ</sub> , м <sup>3</sup> /ppу	K <sup>КОНТ</sup> <sub>ГМ</sub> , м <sup>3</sup> /ppу
	C <sub>n</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>B</sub>							

**Задача 6. Определение контуров карьера по текущей ценности горной массы (ЦГМ).**

Построить в масштабе 1:5000 поперечное сечение погашенного карьера для разработки залежи молибденовой руды, имеющей попутные свинец и медь, с учетом изменения качественнегеометрического показателя карьерного ЦГМ. Угол погашения бортов 30°. На рисунке 10 представлены параметры залежи и карьера на начло его эксплуатации. Цена металлов в руде: молибдена - 250000 руб/т, свинца - 18000 руб/т, меди - 60000 руб/т. Плотность вскрышных пород

$$\gamma_{вск} = (2,5 + 0,02 \cdot N_{вар}), \text{ т/м}^3, \quad \text{полезного ископаемого}$$

$\gamma_{вск} = (3 + 0,02 \cdot N_{вар}), \text{ т/м}^3$ , где  $N_{вар}$  - номер варианта задачи, указываемый преподавателем. Коэффициенты извлечения при добыче и переделе: молибдена - 0,87; свинца - 0,9; меди - 0,9. Остальные исходные данные - в таблице 9.

Исходные данные к задаче 6

Горизонты	Содержание компонентов, %			Эксплуатационные затраты, руб/т		
	<i>Mo</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	добычные работы, $C_d$	вскрышные работы, $C_e$	обогащение и металлургический передел, $C_{пер}$
330-300	0,10	1,5	0,6	90	80	120
300-270	0,10	1,6	0,5	90	82	120
270-240	0,10	1,7	0,4	95	84	120
240-210	0,12	1,7	0,4	110	88	115
210-180	0,12	1,4	0,4	118	93	115
180-150	0,12	1,6	0,3	125	98	115
150-120	0,12	1,0	0,3	130	100	115

*Последовательность решения задачи*

1. Начертить в масштабе 1:5000 (формат А4 или А5) поперечное сечение залежи с контуром карьера на начало эксплуатации.

2. Построить линии текущих контуров карьера, соответствующие отмеченным на схеме горизонтам (под углом рабочего борта, равным 20°). Эти линии ограничивают эксплуатационные слои карьерного поля.

Занести в таблицу 10 результаты расчетов по каждому слою:

- площадей призм вскрышных пород  $F_e$  и полезного ископаемого  $F_{ни}$  ;
- текущих коэффициентов вскрыши  $K_T$ , т/т ;
- себестоимость 1 т руды в слое  $C_p$ , руб/т ;
- извлекаемой ценности руды  $Z$ , руб/т ;
- максимально-допустимой себестоимости руды  $C_{доп}$ , руб/т ;
- граничных коэффициентов вскрыши  $K_{ГР}$ , т/т ;
- минимально-допустимых ЦГМ  $\omega_{ГР}$ , руб/т ;
- текущих ЦГМ  $\omega_T$ , руб/т .



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Близнюков В.Г.*, Определение главных параметров карьера с учетом качества руды. М.: Недра, 2000. 151 с.
2. Рациональное природопользование в горной промышленности /Под общей ред. В.А. Харченко. - М.: МГУ, 2005. 444 с.
3. *Сластунов С.В., Королева В.Н., Коликов К.С.* и др. Горное дело и окружающая среда: Учебник. - М.: Логос, 2006. 272 с.
4. *Ломоносов Г.Г.* Горная квалиметрия. МГУ., 2008.
5. *Капутин Ю.Е.* Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). Спб: Недра, 2009.
6. *Колбасин А.А.* Рациональная разработка недр и охрана природы на карьерах / А.А. Колбасин, Г.Л. Середа, Н.Е. Тартаковский. М.: Недра, 2009.
7. *Холодняков Г.А.* Графоаналитическое определение направления углубки карьера методом изолиний ценности полезных ископаемых комплексного месторождения // Рациональное использование недр и охрана окружающей среды. Л.: ЛГИ, 1986.
8. *Шпанский О.В.* Технология и комплексная механизация добычи нерудного сырья для производства строительных материалов / О.В. Шпанский, Ю.Д. Буянов. М.: Недра, 1996.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Показатели полноты и качества извлечения полезного ископаемого из недр.....	3
2. Извлекаемая ценность комплексного полезного ископаемого .....	8
3. Определение границ залежи при.....	
Комплексном использовании недр .....	10
4. Граничные контуры карьера с учетом качества полезного ископаемого .....	11
4.1. Определение контуров карьера по контурному коэффициенту горной массы.....	12
4.2. Определение контуров карьера по ценности текущей горной массы (цгм).....	14
Задачи .....	16
Библиографический список.....	28

# **СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки 15.04.04*

Сост.: *К.Р. Аргимбаев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
разработки месторождений полезных ископаемых

Ответственный за выпуск *К.Р. Аргимбаев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.12.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,6. Усл.кр.-отт. 1,6. Уч.-изд.л. 1,3. Тираж 30 экз. Заказ 1128.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2