



## **Рациональное использование минеральных ресурсов при открытой разработке сложноструктурных месторождений известняка**

**Аннотация.** Проведен анализ основных видов потерь полезного ископаемого при открытой разработке сложноструктурных месторождений известняка. Приведены схемы к определению потерь полезного ископаемого и примешивания пустых пород при отработке пластовых месторождений. Предложены технологические мероприятия для обеспечения рационального использования минеральных ресурсов и снижения потерь полезного ископаемого при открытой разработке сложноструктурных месторождений известняка.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, известняк, потери, разубоживание.

**Раздел:** (04) экономика.

Известняковые месторождения имеют, как правило, пластообразную или линзообразную форму. Сложноструктурные месторождения известняка характеризуются переслаивающимися пачками полезной толщи, вскрышных пород или некондиционного сырья, а также изменчивостью качества полезного ископаемого [1].

Потери полезных ископаемых при открытой разработке месторождений подразделяются на общекарьерные (общерудничные) и эксплуатационные.

К общекарьерным относятся потери в охранных, барьерных и других целиках; в бортах карьера под транспортными бермами, а также потери, вызванные горно-геологическими, гидрогеологическими и другими причинами.

К эксплуатационным относятся потери, происходящие непосредственно в процессе добычи руды, зависящие от принятой технологии разработки и организации горных работ в приконтактных зонах залежи или рудного тела. Исчисляются они в процентах по отношению к погашенным балансовым запасам за определенный период времени.

Различают проектные, нормативные и плановые потери. К проектным относятся потери полезного ископаемого, определяемые при проектировании разработки месторождения. Проектом устанавливаются размеры как общекарьерных, так и эксплуатационных потерь. Величина общекарьерных потерь в процессе разработки месторождения обычно не изменяется. Эксплуатационные потери в зависимости от горно-геологических, организационных и технологических факторов могут существенно изменяться.

Нормативными являются потери полезного ископаемого, устанавливаемые технико-экономическим расчетом для каждого эксплуатационного блока (участка) по данным эксплуатационной разведки. По этим потерям определяется полнота извлечения погашаемых балансовых запасов.

Плановые потери рассчитываются по карьере или его участку в соответствии с планом развития горных работ на отчетный период и утвержденными нормативными показателями. В плановые потери включаются и ненормируемые потери, относящиеся к проходке горно-капитальных выработок, транспортных берм.

Анализ работы карьеров-аналогов, разрабатывающих сложноструктурные месторождения известняка, позволил установить наиболее характерные виды потерь.



– Потери в почве известняка на участках, где промышленный известняк подстилается песчано-глинистыми породами. На таких участках известняк оставляется для стоянок и передвижения экскаватора, а также для избежания вспучивания подстилающих песков.

– Потери в почве известняка на участках, где в почве известняка залегают некондиционные известняки и доломиты. На таких участках необходимо оставлять прослой известняка во избежание разубоживания полезной толщи некондиционными известняками.

– Потери промышленного известняка при разработке закарстованных участков (% от объема карста).

– На участках с большой мощностью вскрыши – потери известняка в предохранительных целиках для удержания навала неустойчивых вскрышных пород.

– Диаграмма потерь полезного ископаемого в подошве, целиках и карстовых зонах для карьера по добыче известняка представлена на рис. 1.

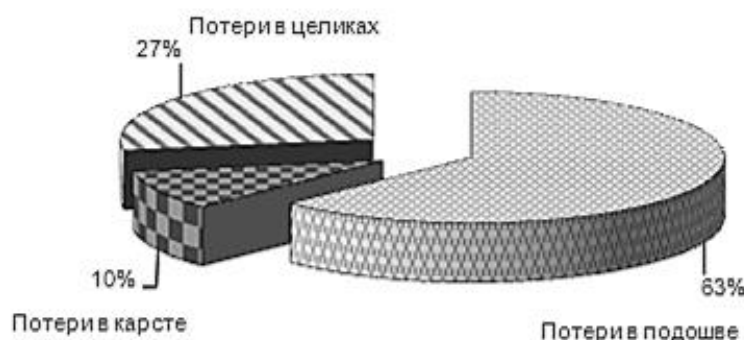


Рис. 1. Диаграмма потерь полезного ископаемого в подошве, целиках и карстовых зонах для карьера по добыче известняка.

На месторождениях, где разрабатываемые промышленные пласты известняка имеют достаточно выдержанную мощность и четкие границы с подстилающими и вышележающими породами, предусматривать проектом разубоживание не требуется. Оптимизация нормативов потерь и разубоживания позволяет уменьшить себестоимость добычи полезного ископаемого, увеличить валовый доход и прибыль предприятия:

$$\Delta A = f(P, R),$$

где  $\Delta A$  – объем увеличения производства продукции снижения потерь и разубоживания,  $P$  – потери полезного ископаемого,  $R$  – разубоживание полезного ископаемого.

Технико-экономическое обоснование целесообразности снижения потерь при увеличении разубоживания или увеличения потерь при снижении разубоживания должно базироваться на сопоставлении вариантов ведения горных работ в зонах контакта полезного ископаемого и вскрыши.

При отработке горизонтальных (слабонаклонных) сложноструктурных месторождений (см. рис. 2) коэффициент потерь для отдельного  $i$ -го контакта пласта полезного ископаемого и вскрышных пород:

$$K_{\Gamma_i} = \frac{h_{\Gamma_i}}{\sum_{j=1}^K M_{\Delta j}},$$



где  $h_{Ti}$  – мощность слоя теряемого полезного ископаемого  $i$ -го контакта (м);  $M_{dj}$  – вертикальная мощность  $j$ -го пласта полезного ископаемого, м ( $j=1,2,3,\dots,K$ );  $K$  – количество разрабатываемых пластов полезного ископаемого.

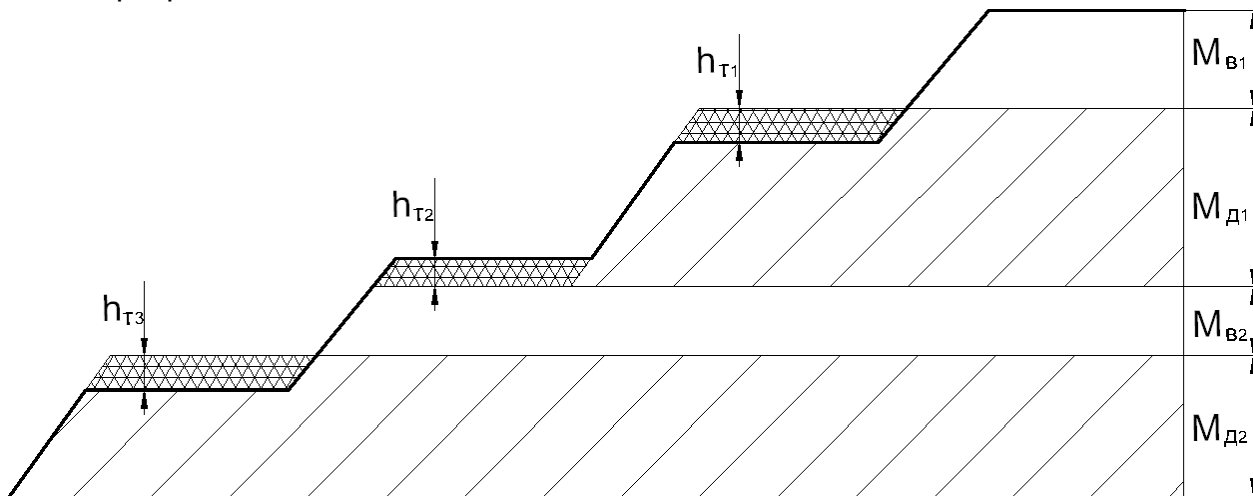


Рис. 2. Схема к определению потерь полезного ископаемого:

$M_B$  – мощность пласта (пропластка) вскрыши или некондиционного полезного ископаемого (м)

При  $n$  отдельно разрабатываемых контактов коэффициент потерь:

$$K_{\Pi} = \sum_{i=1}^n K_{\Pi i}.$$

Коэффициент примешивания вскрышных пород для отдельного  $i$ -го контакта:

$$K_{\Pi Pi} = \frac{h_{\Pi i} \cdot \gamma_B}{\gamma_P \cdot \sum_{j=1}^K M_{Pj}},$$

где  $h_{\Pi i}$  – мощность слоя примешиваемых вскрышных пород  $i$ -го контакта (м);  $\gamma_B$  – объемная масса примешиваемых вскрышных пород ( $\text{т/м}^3$ );  $\gamma_P$  – объемная масса полезного ископаемого ( $\text{т/м}^3$ ).

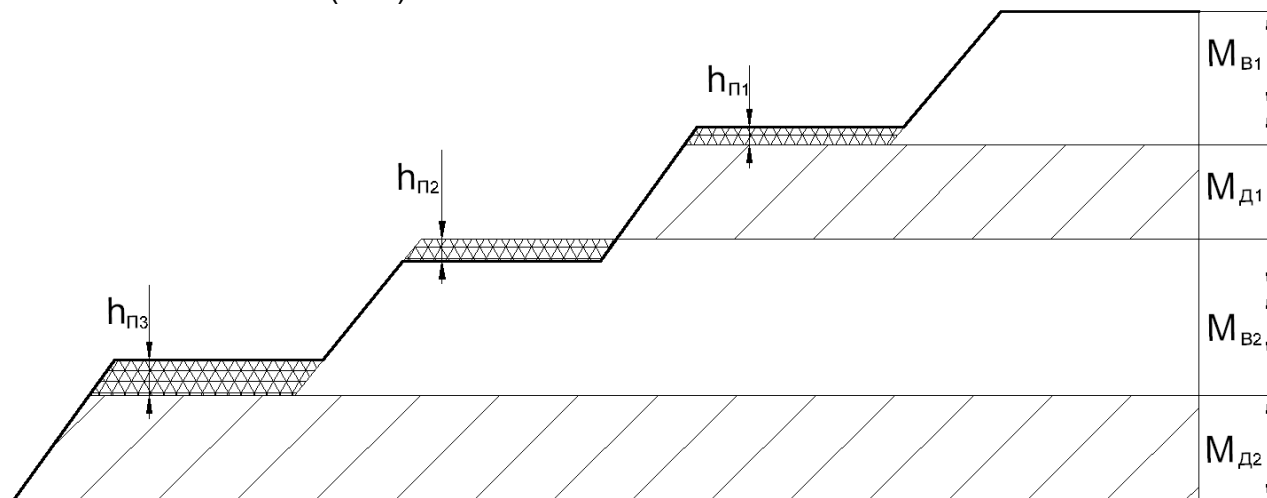


Рис. 3. Схема к определению примешивания пород:

$h_{\Pi i}$  – мощность слоя примешиваемых вскрышных пород  $i$ -го контакта (м)



При  $n$  раздельно разрабатываемых контактов коэффициент примешивания вскрышных пород

$$K_{\text{ПР}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{ПР}i}.$$

Потери при составлении известняка в подошве для обеспечения продвижения и стоянок добычного экскаватора ( $\tau$ ):

$$\Pi_1 = L_{\Phi} \cdot A_3 \cdot h_T \cdot \gamma_P,$$

где  $L_{\Phi}$  – длина экскаваторного фронта работ (м);  $A_3$  – ширина заходки добычного экскаватора (м);  $h_T$  – мощность слоя теряемого полезного ископаемого (м);  $\gamma_P$  – объемная масса известняка (т/м<sup>3</sup>).

Потери при разработке закарстованных участков ( $\tau$ ):

$$\Pi_2 = A_{\text{ПУ}} \cdot K_3,$$

где  $A_{\text{ПУ}}$  – планируемый объем добычи товарной руды участка (т);  $K_3$  – коэффициент закарстованности (доли ед.).

Потери известняка, оставляемого в предохранительных целях для удержания навала неустойчивых вскрышных пород ( $\tau$ ):

$$\Pi_3 = L_{\text{ц}} \cdot B_{\text{ц}} \cdot h_{\text{ц}} \cdot \gamma_P,$$

где  $L_{\text{ц}}$  – общая длина целиков (м);  $B_{\text{ц}}$  – ширина целиков (м);  $h_{\text{ц}}$  – высота целиков (м).

Для определения оптимальных нормативных потерь и разубоживания полезного ископаемого целесообразно использовать критерий – максимум чистого дисконтированного дохода ЧДД (NPV) от разработки участка месторождения или максимум среднегодовой чистой прибыли при рассмотрении варианта разработки в течение года или менее.

Коэффициент потерь  $K_{\text{П}}$  и примешивания пород  $K_{\text{ПР}}$ :

$$K_{\text{П}} = \frac{\Pi}{B},$$

$$K_{\text{ПР}} = \frac{P}{B},$$

где  $\Pi$  – количество теряемых балансовых запасов руды (т);  $B$  – балансовые запасы добычного участка (т);  $P$  – количество разубоживающих пород (т).

Планируемый объем добычи товарной руды участка ( $\tau$ ):

$$A_{\text{ПУ}} = B(1 - K_{\text{П}} + K_{\text{ПР}}).$$

Удельная извлекаемая ценность (отнесенная к 1 т погашенных балансовых запасов) (руб./т):

$$\text{Ц}_{\text{и}} = \frac{\text{Ц} \cdot \varepsilon \cdot A_{\text{ПУ}} \cdot \alpha_T}{B},$$

где  $\text{Ц}$  – цена конечной продукции предприятия (руб./т);  $\varepsilon$  – коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении руды;  $\alpha_T$  – содержание полезного компонента в товарной руде эксплуатационного участка.

Содержание полезного компонента в товарной руде (%):

$$\alpha_T = \frac{B(\alpha_B - \alpha_B \cdot K_{\text{П}} + \alpha_P \cdot K_{\text{ПР}})}{A_{\text{ПУ}}},$$



где  $\alpha_B$  – содержание полезного компонента в балансовых запасах эксплуатационного участка;  $\alpha_P$  – содержание полезного компонента в разубоживающих породах.

Удельные суммарные затраты на получение конечной продукции (отнесенные к 1 т погашенных балансовых запасов) (руб./т):

$$З_B = З_{\text{СУМ}}(1 - K_P + K_{\text{ПР}}),$$

где  $З_{\text{СУМ}}$  – удельные суммарные затраты на добычу и переработку руды (руб./т).

Чистый дисконтированный доход ЧДД (NPV) от разработки эксплуатационного участка (руб.):

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T [(C_{\text{ит}} - З_{\text{Бт}})A_{\text{Пут}} + A_t - K_t] \frac{1}{(1+E)^t},$$

где  $A_t$  – амортизационные отчисления, руб.;  $K_t$  – капитальные вложения в  $t$ -м году, руб.;  $E$  – норма дисконта;  $T$  – количество лет приведения ( $t = 0, 1, 2, \dots, T$ ).

На предварительной стадии проектирования, предпроектных оценок для отбора конкурентных вариантов целесообразно использовать среднегодовую чистую прибыль (руб.):

$$NC_{\text{ср.г.}} = (C_{\text{и}} - З_B)A_{\text{ПУ}} \cdot 0,5K_0E,$$

где  $K_0$  – капитальные вложения, приведенные к году освоения проектной мощности (руб.);  $E$  – норма дисконта.

Нормативный коэффициент потерь:

$$K_{\text{ПН}} = K_P \cdot 100\%.$$

Нормативный коэффициент разубоживания:

$$K_{\text{РН}} = \frac{\alpha_B - \alpha_T}{\alpha_B - \alpha_P} \cdot 100\%,$$

или

$$K_{\text{РН}} = \frac{Б \cdot K_{\text{ПР}}}{A_{\text{ПУ}}} \cdot 100\%.$$

Использование показателей «засорение», «примешивание» усложняет оценку изменения содержания полезных компонентов в рудах. Сложившееся на протяжении последних десятилетий в горнодобывающей промышленности понятие «разубоживание», отражающее в целом изменение (как правило, снижение) содержания полезных компонентов в добытом полезном ископаемом, необходимо и достаточно для характеристики данного технологического явления.

В зависимости от причин разубоживания различными могут быть зависимости для определения коэффициента разубоживания.

Таким образом, нецелесообразно в одних нормативных документах для характеристики изменения качества добытого полезного ископаемого использовать категорию «разубоживание», в других – «разубоживание» и «засорение», а в третьих – «засорение».

Для обеспечения рационального использования минеральных ресурсов и снижения потерь полезного ископаемого при открытой разработке сложноструктурных месторождений известняка необходимо:

– В подошве промышленной толщи известняка нижнего добычного горизонта для передвижения и стоянок экскаваторов оставлять слой известняка (до 0,5 м).



– В подошве промышленной толщи верхнего добычного горизонта, во избежание разубоживания некондиционными известняками, оставлять слой известняков (до 0,4 м).

– При железнодорожном транспорте добыча известняка должна производиться с верхней погрузкой в думпкары, что позволит исключить потери известняков в подпутных подушках.

– В целях наиболее полного рационального использования минеральных ресурсов вовлекать в добычу некондиционные известняки, пригодные для цементного производства.

– В целях наиболее полного рационального использования минеральных ресурсов вовлекать в добычу для строительных целей доломитизированный известняк.

## Ссылки на источники

1. Иванов В. В. Выбор оптимальной длины фронта горных работ при разработке карбонатных месторождений открытым способом // Горный журнал. – 2010. – № 7. – С. 57–58.

**Vladimir Ivanov,**

*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, National Mineral Resources University, Saint-Petersburg*

[vladimirivanov@inbox.ru](mailto:vladimirivanov@inbox.ru)

**Rational use of mineral resources in the development of complex open limestone deposits**

**Abstract.** The author analyzes the major kinds of losses of minerals during open development compound structure limestone deposits and gives the scheme to the definition of loss of the mineral and contact tailings during the mining of bedded deposits. The author proposes technical measures to ensure rational use of mineral resources and reduction of losses of minerals during open development compound structure limestone deposits.

**Key words:** Open-cast mining, limestone, mineral losses, mineral dilution.

**Рекомендовано к публикации:**

Горевым П. М., кандидатом педагогических наук, главным редактором журнала «Концепт»

ISSN 2304-120X



0 6



9 772304 120142