

УДК 622.271

**М.А. Земляной, Ю.И. Разоренов**

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ПЛАНЕ И В УГЛУБКЕ**

**(на примере Новороссийского месторождения  
мергелей)**

*На примере Новороссийского месторождения мергелей производится обоснование выбора направления развития горных работ в плане и в углубке. Выбор направления производится с учетом содержания полезных компонентов в телах породообразующих элементов. Параметры элементов системы разработки определяются с учетом выбора направления развития горных работ, как в плане, так и в углубке.*

*Ключевые слова: углубка, мергель, минеральное сырье.*

**M.A. Zemlyanov, Y.I. Razorenov**  
**THE METHOD OF CHOOSING THE  
DIRECTION FOR THE MINING WORKS  
IN PLAN AND IN DEEPENING (on the  
example of Novorossiyskoe marlstone  
deposit)**

*On an example of the Novorossiysk deposit mergel the substantiation of a choice of a direction of development of mountain works by way of and in a direction of downturn is made. The choice of a direction is made in view of the maintenance of useful components in bodies elements. Parameters of elements of system of development are defined in view of a choice of a direction of development of mountain works, both by way of, and in a direction of downturn.*

*Key words: deepening, marlstone, minerals.*

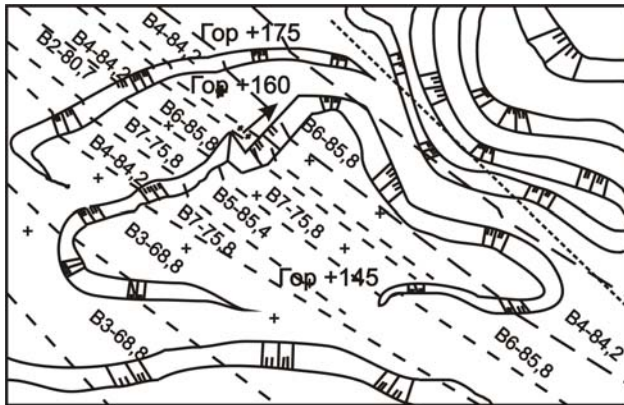
**П**овышение эффективности работы горных предприятий стройматериалов диктует новые требования к решению задач, связанных с выбором направления развития горных работ в плане и в углубке, с обоснованием параметров элементов систем разработки с учетом выпуска готовой продукции (в частном случае – цемента). Существующие методики по обоснованию направления развития горных работ имеют существенные недостатки применительно к отработке нагорного месторождения

минерального сырья для производства цемента. В них недостаточно учитываются параметры элементов системы отработки запасов минерального сырья. Слабо освещены вопросы, связанные с формированием качества добываемого минерального сырья по комплексу породообразующих элементов.

Месторождение мергелей (г. Новороссийск) представлено крутопадающими телами (пачками) полезного ископаемого общей мощностью свыше 450 м с изменяющимся содержанием основных породообразующих элементов ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Задачу обеспечения требуемой стабильности качества добываемого сырья необходимо решать на основании определения рациональной последовательности отработки запасов карьерного поля как в плане, так и по направлению углубки.

Исходной информацией для формирования направления развития фронта добычных работ в плане служит картина пространственной изменчивости породообразующих элементов в минеральном сырье, которую устанавливают по данным предварительной и детальной разведки



**Рис. 1.** Схема залегания тел мергеля с различным содержанием  $\text{CaCO}_3$ . В1-8 «Высокие» мергели с присущим содержанием  $\text{CaCO}_3$ , %.

месторождения и представляют в цифровом или графическом виде. Так на рис. 1 представлены зоны (тела) с различным содержанием  $\text{CaCO}_3$ .

Для выбора рационального направления развития фронта работ (выделение первоочередных зон отработки) в плане необходимо установить зависимость  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от  $\text{CaCO}_3$ .

На рис. 2 представлена зависимость  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от  $\text{CaCO}_3$ .

Функция регрессии имеет вид

$$\gamma_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 10,6 - 0,103 \cdot x, \%$$

где  $x$  – содержание  $\text{CaCO}_3$  в мергеле, %.

Коэффициент корреляции  $R_{x,y} = 0,95$ . По критерию Фишера

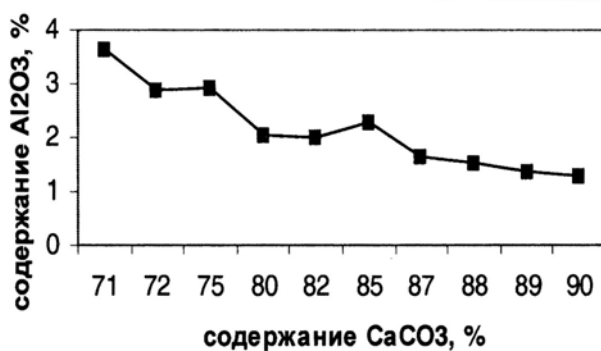
$$F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}} = 71,32.$$

На основании проведенных исследований и анализа полученных данных разработана технологическая схема до-

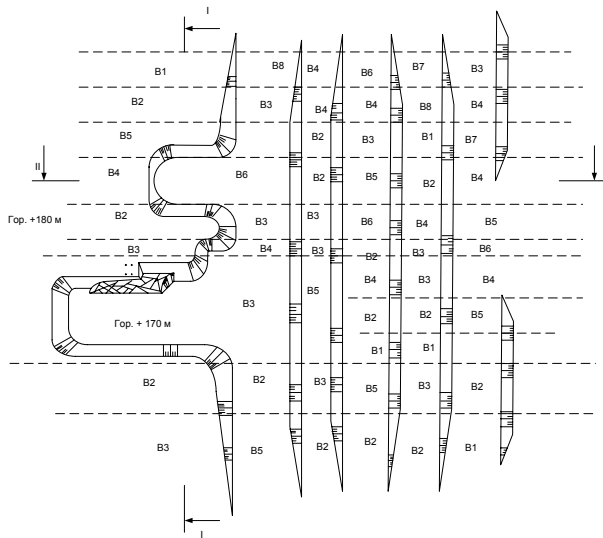
бычи полезного ископаемого (перемещение фронта работ в плане), позволяющая повысить эффективность управления качеством добытого мергеля. Новый вариант технологической схемы добычи мергеля предусматривает развитие направления ведения горных работ в плане путем проведения разрезной траншеи вкrest простирания тел полезного ископаемого, обеспечивая селективную отработку блоков с учетом необходимого соотношения породообразующих элементов мергеля (рис. 3).

Информация о распределении породообразующих элементов в телах полезного ископаемого и интеграция параметров технологической схемы добычи и ценности минерального сырья определяет направление развития фронта работ в пространстве.

Для обоснования рациональной последовательности отработки тел полезного ископаемого разработан метод определения направления углубки на основе трапециевидно-блочной геолого-промышленной модели месторождения, который позволяет производить интегрированную оценку ценности сырья и параметров технологической схемы добычи мергеля. Основным элементом модели является ячейка с поперечным сечением в виде трапеции.



**Рис. 2.** Зависимость содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от содержания  $\text{CaCO}_3$  в мергеле



Трапециевидную форму ячейке придают высота уступа и угол залегания тела мергеля с учетом вмещающих породных прослоек. На основе корреляционно-регрессионного анализа для каждой трапециевидной ячейки рассчитывают содержание  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  в мергеле по трем и более скважинам, расположенным внутри элементарного трапециевидного блока.

Поскольку каждая трапециевидно-блочная ячейка характеризуется различным по величине составом породобразующих элементов и горнотехническими условиями отработки тел полезного ископаемого, то формирование ценности минерального сырья, поступающего непосредственно на обжиг, происходит с учетом зависимости извлекаемой ценности сырья от содержания  $\text{CaCO}_3$ , силикатного и глиноземного модулей представленной на рис. 4.

Функция регрессии имеет вид  $\Pi = 23,74 - 0,0641x_1^2 + 15,52x_2^2 + 36,46x_3^2$

где  $x_1$  – содержание  $\text{CaCO}_3$ , доли ед.;  $x_2$  – величина силикатного модуля  $n$ , доли ед.;  $x_3$  – величина глиноземного модуля  $p$ , доли ед.

**Рис. 3. Технологическая схема добычи мергеля при новом варианте**

Множественный коэффициент корреляции  $R_{x,y} = 0,95$ . По критерию Фишера  $F_{\text{расч}} = 12,5$ ;  $F_{\text{таб}} = 4,9$ .

Увеличение зоны оптимальности (рис.3) предполагает  $S_1 \rightarrow \text{max}$ ,  $S_2 \rightarrow \text{max}$ ,  $S_3 \rightarrow \text{max}$ . С увеличением  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  повышается экономическая эффективность производства цемента за счет снижения величины применения корректирующих добавок. Однако  $S_2$ ,  $S_3$  имеют ограничения по величинам, влияющим на качество сырья, идущего на обжиг. Оптимальные параметры  $n$  и  $p$  определяются применяемым оборудованием и технологий производства цемента.

Величины  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  определяются следующей формулой

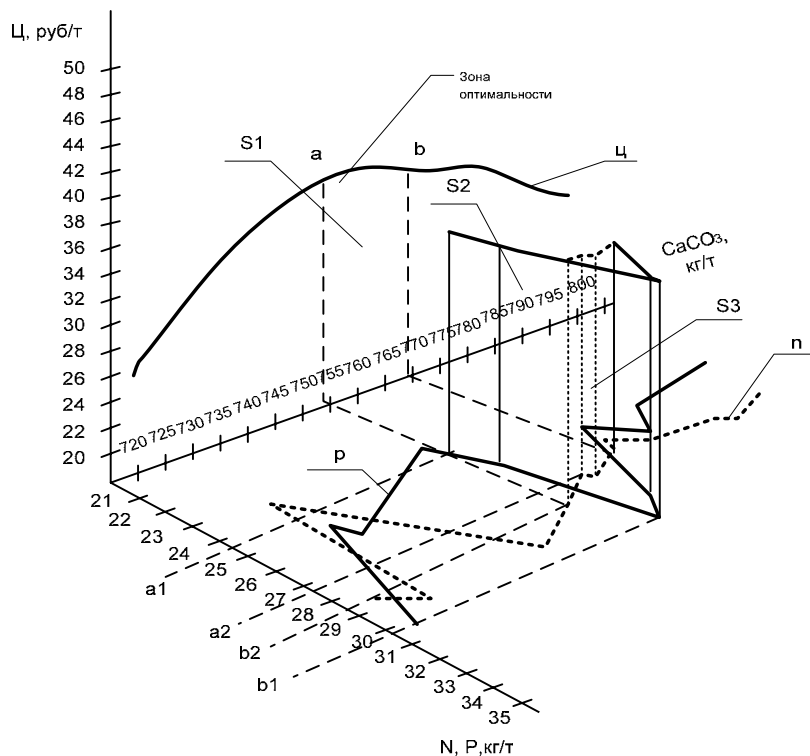
$$S_1 = \int_a^b f(u)dx,$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^m \int_{a_i}^{b_i} f_i(n)dx, \quad S_3 = \sum_{i=1}^m \int_{a_i}^{b_i} f_i(p)dx,$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – отрезок с границами  $a_i$  и  $b_i$  в  $i$ -й зоне оптимальности;  $m$  – количество участков в  $i$ -й зоне оптимальности, шт.

Управление параметрами ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) происходит за счет вариации направлением развития фронта горных работ как в плане, так и в углубке на основе геолого-промышленной модели месторождения с учетом прибыли и затрат.

Для обоснования рациональных параметров (высота уступа, ширина заходки) с учетом понижения фронта горных работ и ценности добываемого



**Рис. 4. Функция зависимости извлекаемой ценности сырья от содержания в нем силикатного, глиноземного модулей и  $\text{CaCO}_3$ :** ц – извлекаемая ценность минерального сырья от содержания  $\text{CaCO}_3$ ; n – глиноземный модуль; p – силикатный модуль;  $S_1, S_2, S_3$  – площадь, ограниченная зоной оптимальности по извлекаемой ценности, глиноземного и силикатного модулей соответственно,  $\text{ед}^2$ .

сырья необходимо установить зависимости высоты уступа и ширины заходки.

С учетом того, что тела мергеля имеют разную величину содержания породобразующих элементов и горизонтальную мощность от 10 до 70 м, то главным условием при обосновании контура крайних заходок и высоты уступа является величина примешиваемых запасов с различным содержанием породобразующих элементов.

Величина  $\text{CaCO}_3$  -  $\mu$ , содержащаяся в исходной горной массе (в телах полезного ископаемого) является главным условием при обосновании контуров крайних заходок и высоты добычного уступа (рис. 5).

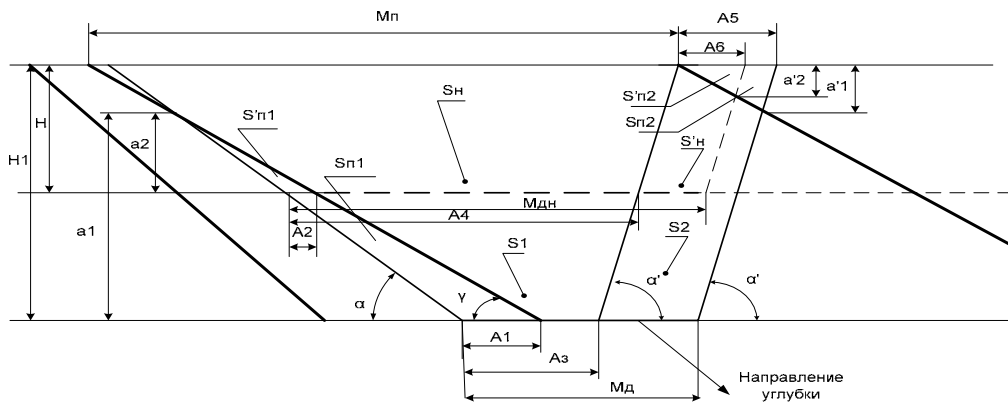
Максимальное значение  $A_1$  и  $A_2$  определяется в соответствии с заданным содержанием  $\text{CaCO}_3$  в добываемом сырье.

$$A_1 = h \cdot \left( \frac{\mu}{\psi_1} + \sqrt{\frac{\mu^2}{\psi_1^2} + \frac{2\mu}{\psi_1} \cdot \text{ctg}\alpha} \right)$$

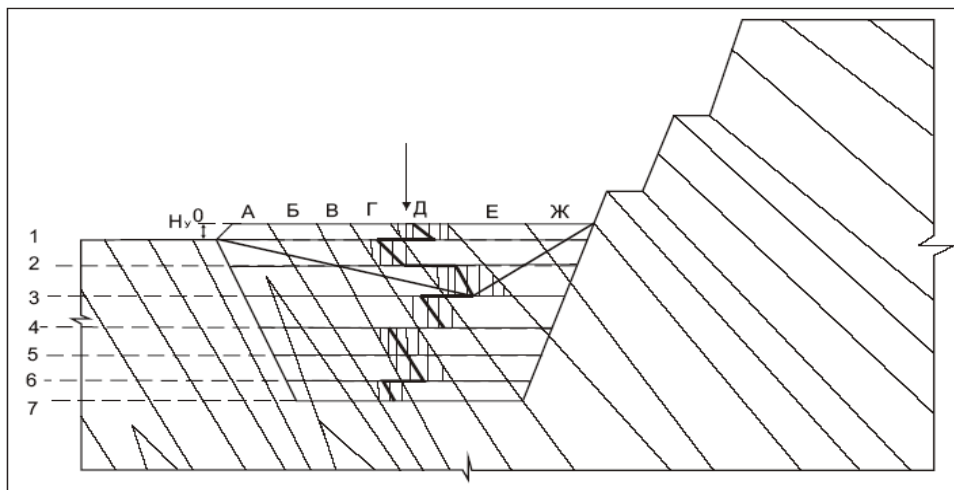
$$A_5 = 2\mu \cdot h / \psi_2$$

Формирование направления углубки по содержанию  $\text{CaCO}_3$  в телах полезного ископаемого, на основе трапециевидно-блочной геолого-промышленной модели месторождения (рис. 6).

При сравнении вариантов технологических схем добычи мергеля в качестве критерия их эффективности



**Рис. 5. Схема к обоснованию высоты уступа и контура крайних заходок:**  $S_{п1}$  и  $S_{п2}$  – площадь сечения примешиваемого полезного ископаемого с различным содержанием породообразующих элементов в крайних заходках при базовом варианте,  $m^2$ ;  $S_d$  – площадь сечения добываемых (промышленных) запасов,  $m^2$ ;  $S'_{п1}$  и  $S'_{п2}$  – площадь сечения примешиваемого полезного ископаемого с различным содержанием породообразующих элементов в крайних заходках при новом варианте,  $m^2$ ;  $\gamma$  – угол падения залежи мергеля, град;  $\alpha$  – угол откоса рабочего уступа;  $A_1, A_2, A_5, A_6$  – значение ширины заходок примешиваемых пород с различным содержанием породообразующих элементов соответственно со стороны лежачего и висячего боков.  $A_3$  и  $A_7$  – значение ширины первых заходок при базовом и новом вариантах,  $M_d$  и  $M_p$  – ширина блока отработки по дну и верху заходки, м;  $H$  и  $H_1$  – высота уступа при базовом и новом варианте, м.



**Рис. 6. Схема к определению направления углубки при поэтапной отработке многокомпонентного месторождения мергеля для производства цемента**

может быть принята сумма дисконтированной прибыли за вычетом капитальных вложений, которая представлена следующей формулой (руб/т)

$$\sum_{t=1}^{t_p} \Pi_{pet} = \sum_{e=1}^{t_p} (1 - A_{ot}) \times \\ \times \sum_{t=1}^{t_p} A_{ot} (u_{омт} - c_{омт}) / (1 + E)^{t_p - 1} + \\ + \sum_{t=1}^{t_p} A_{нт} (u_{омт} - c_{омт}) / (1 + E)^{t_p - 1} - \\ - \sum_{i=1}^{t_p} \sum_{j=1}^{n_b} K_i (1 + \gamma E_k)^{t_{ci}} - \sum_{t=1}^{t_p} Y_{ост},$$

где  $A_{bt}$  – производственная мощность карьера в  $t$ -й год по мергелю со стохастическим в содержанием породообразующих элементов, т/год;  $A_{нт}$  – производственная мощность карьера в  $t$ -й год по мергелю с детерминированным содержанием породообразующих элементов, т/год;  $C_{двт}$  и  $C_{двт}$  – извлекаемая ценность добываемого минерального сырья с со стохастическим в содержанием породообразующих элементов и эксплуатационные

затраты на его добычу и переработку в  $t$ -й год, руб/т;  $\gamma_t$  – часть запасов подлежащих временной консервации, доли ед;  $A_b$  – доля затрат на корректировку сырья для производства цемента, доли ед.

Методика включает в себя следующие ограничения:

по производственной мощности

$$\text{карьера } \sum_{t=1}^{t_p} \sum_{i=1}^n q_{ti} A_t \leq A_t^{\max};$$

по объему сырья, поступающего на перерабатывающие предприятия

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \sum_{j=1}^m \gamma_{nij} q_{ti} A_t \leq A_t^{\text{перmax}};$$

по спросу на продукцию

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i q_{ti} A_t \leq Q_i^{\max};$$

по объему обязательных поставок

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i q_{ti} A_t \geq Q_i^{\min}.$$

где  $q_i$  – объем  $i$ -го минерального сырья, участвующего в производстве цемента, доли ед.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев В.А. Строительные материалы. – М.: “Высшая школа”, 1973.–376 с.
2. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 542 с.: ил.

3. Чирков А.С. Добыча и переработки строительных горных пород: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. - 623 с. **ГИИЗ**

### Коротко об авторах

Разоренов Ю.И. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», RazorenovYI@npi-tu.ru  
Земляной М.А. – кандидат технических наук, докторант кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», OOO.NIS@mail.ru  
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),