

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.17.61.004

УДК 624.131+ 539.215

© Р. З. Камалян, С. Р. Камалян, Н. С. Нестерова, 2026

### Р. З. КАМАЛЯН

д-р техн. наук, проф.,  
профессор кафедры  
Российский университет кооперации,  
г. Краснодар  
e-mail: kasarub@gmail.com

### С. Р. КАМАЛЯН

канд. физ.мат. наук  
зав. отделом Южного межрегионального управления охраны ПАО «Газпром»,  
г. Краснодар  
e-mail: kasarub@gmail.com

### Н. С. НЕСТЕРОВА

канд. техн. наук  
доцент кафедры  
ИМСИТ, г. Краснодар  
e-mail: nnnnnnn46@mail.ru

## О ПАРАМЕТРАХ ВЫПУСКА СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ

*Моделированию процессов выпуска разрушенной среды при подземной разработке посвящено много исследований.*

*Построение модели преследует, как правило, возможность оптимизации параметров выпуска руды.*

*Настоящая работа посвящена вопросу целесообразности оптимизации этих параметров с целью максимального вписания фигуры выпуска в объем, ограниченный поверхностями контактов.*

*Для проведения промышленного эксперимента по оценке результата оптимизации необходимо определить, как происходит процесс разубоживания и каким образом он контролируется.*

*В работе приведен пример такого определения.*

**Ключевые слова:** СЫПУЧАЯ СРЕДА, ВЫПУСК, ОПТИМИЗАЦИЯ, ПАРАМЕТРЫ, РАЗУБОЖИВАНИЕ.

В работе [1] с помощью математической модели исследуется вопрос об оптимизации геометрических параметров выпуска руды, то есть выпуска взорванного массива полезного ископаемого под налегающими обрушенными породами. Фигура выпуска, ограниченная замкнутыми выпуклыми поверхностями, напоминает поверхности эллипсоидов [2]. Подготовленный к взрыванию массив контактирует своими поверхностями с обрушенными

породами — сыпучим материалом, содержание полезных компонентов в котором ниже, чем в самом массиве. После взрыва поверхности контактов становятся поверхностями разрыва содержания полезных компонентов в сыпучей среде. Желание обеспечить наилучшие показатели извлечения полученного ископаемого привело к поиску оптимальных геометрических параметров фигуры выпуска. В случае  $R = 0$  ( $R$  — коэффициент объемного

разубоживания) такое, достаточно очевидное, оптимальное соотношение было найдено в [3]. Согласно этому, фигура выпуска при своем развитии должна вписаться в объем, ограниченный поверхностями контактов. В [1] это соотношение названо принципом вписания.

В настоящей работе рассмотрен вопрос целесообразности оптимизации параметров фигуры выпуска.

На рис. 1 примерно (точный результат не имеет здесь принципиального значения) показаны проекции на плоскость  $X_1 = \text{const}$  линии оптимума 1 и линии 2, соответствующей выпуску секции, размеры которой выдержаны согласно принципу вписания. Понятно, что выпуск вдоль линии 1 можно вести только на математической модели, так как на физической модели невозможно одновременно с  $R$  изменять непрерывным образом и  $X_1$ . Поэтому, если для физической модели, задав  $R = R_A$ , заранее определим некоторый  $X_1 = X_{1opt}$  (этому соответствует точка А на линии 1), то выпуск будет идти вдоль линии, являющейся линией пересечения плоскости  $X_1 = X_{1opt}$  трехмерной поверхности типа

$$f(P, R, X_{1opt}) = 0, \quad (1)$$

где  $P$  — коэффициент объемных потерь.

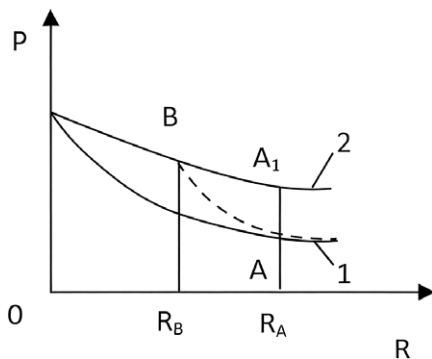


Рис. 1. Линии связи показателей выпуска

Значение  $P$  вычислено по формуле [1]:

$$P = 1 - 2[3(4/\pi + M)(1 + M)^{-1} - 1 + (1 + M)^{-3}]^{-1}.$$

В случае  $M = 0$  имеем плоский фронтальный контакт и  $P = 1 - \frac{\pi}{6} = 0,4764$ . Если же, например,  $M = 0,3$ , то  $P = 0,352$ , т.е. потери уменьшились на 12,44 %

На рисунке линия (1) показана пунктиром. Очевидно, она не может лежать ниже линии 1 и касается ее лишь в точке А. Линию же 2 она пересекает в некоторой точке В и при  $R > R_B$  лежит ниже ее. Если система (1), (5) и (6) из [1] определяет гиперповерхность, то, положив в ней параметры  $X_v = X_{vopt}$ , которые найдены из (5), (6) [1] и зафиксировав их, получим также линию рисунка 1.

Пусть требуется выйти на расчетный коэффициент разубоживания  $R_A$ . В этом случае можно добиться снижения потерь на величину, равную разности ординат точек А и  $A_1$  (рис. 1).

Величину  $R$  определяют, применяя тот или иной метод опробования. Учитывая погрешность любого метода, можно говорить о некоторой плотности случайной величины  $R$ :

$$F_1 = F_1(R) \quad (2)$$

с математическим ожиданием

$$M(R) = \int_0^1 R f_1(R) dR = R_A.$$

Представим (1) в виде

$$P_1 = P_1(R). \quad (3)$$

Аналогично примем, что

$$P_2 = P_2(R) \quad (4)$$

есть уравнение линии 2. Зная (2) и обращая (3) и (4), найдем математические ожидания коэффициентов потерь соответственно для выпуска вдоль пунктирной линии и линии 2.

$$M(P_1) = \int_{P_0}^0 f_1 [P_1^-(P_1^1)] P_1^-(P_1^1) dP_1 \quad (5)$$

$$M(P_2) = \int_{0,476}^0 f_1 [P_2^-(P_2^2)] P_2^-(P_2^2) dP_2$$

где верхний индекс “-“ означает обращение функции.

Очевидно, оптимизация будет целесообразна, если

$$M(P_1) < M(P_2) \quad (6)$$

Таким же образом следует оценивать целесообразность решения каждой задачи оптимизации. Оценка (5), (6) связана с наличием отрезка  $P_0B$  пунктирной линии рисунка,

лежащего выше линии 2, и близостью абсцисс точек А и В.

Чем больше отношение  $(R_A - R_B)/R_B$ , тем при большей дисперсии распределения (2) будет выполняться условие (6).

Систему (1), (5), (6) из [1] можно построить и по критерию минимума разубоживания. Тогда роль свободного параметра, определяемого продолжительностью выпуска, будет играть уже коэффициент  $P$ . Здесь оценка целесообразности оптимизации будет отличаться от данной выше, так как величина  $P$  может быть определена только косвенным путем, но принцип ее построения будет тем же. При этом поверхность (1) останется, очевидно, неизменной.

Для реального процесса выпуска всегда можно построить рисунок аналогичный приведенному, где пунктирная линия коснется линии 1 в некоторой точке. Однако дело еще в том, что линии рисунка представляют собой геометрическое место точек, изображающих случайные величины, так как процессы смещения контактов взорванного массива с зажимающей средой (ЗС) [4], и развития фигуры выпуска носят статистический характер. Нами применен детерминированный подход, но при этом можно считать, что для определения линий рисунка использовались математические ожидания смещений контактов и фигуры выпуска, но в этом случае и сами линии являются математическими ожиданиями соответствующих решений. Более точные оценки целесообразности оптимизации должны учитывать статистику фигуры выпуска и смещений контактов ЗС с массивом при его взрывном разрушении [1].

По-видимому, для принятия решения об обработке некоторого месторождения, вообще, необходимо учитывать величину представительного объема выборки того или иного физико-механического параметра. Если эта выборка, в худшем случае, набирается по всему объему месторождения то нельзя ожидать, что данная система обработки даст хорошие результаты, ведь тогда станет невозможным достаточно точный расчет параметров системы.

Чтобы провести промежуточный эксперимент по оценке результатов оптимизации, нужно определить, как происходит процесс разубоживания и каким образом он контролируется. Очевидно, что в первую очередь необходимо узнать зависимость текущего коэффициента разубоживания  $R_t$  от текущего объема  $V_t$  фигуры выпуска.

Поясним сказанное. Основным показателем качества выпуска является коэффициент разубоживания. В модели он представлен абсолютным разубоживанием  $R$ . При выпуске же фиксируется лишь коэффициент текущего разубоживания  $R_t$ . Если создана секция согласно решению системы из [1], то к моменту начала разубоживания ( $R_t=0$ ) можно выпустить некоторый объем  $V_0$ , тогда  $R_t = R_t(V_t)$ , причем  $V_0 \leq V_t \leq V$ , где  $V$  — окончательный объем фигуры выпуска, заданный предварительным решением. Очевидно, что связь между  $R$  и  $R_t$  будет иметь вид

$$(V - V_0) R = \int_{V_0}^V R_t(V_t) dV_t$$

Зависимость  $R_t(V_t)$  может быть установлена конкретно для соответствующей системы уравнений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камалян Р. З., Королев К. Д. О математическом моделировании и оптимизации геометрических параметров выпуска руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. № 3. С. 102–107.
2. Дубинин Н. Р., Крамаджян А. А. Влияние плотности материала на характер его истечения // Подземная разработка рудных месторождений. 1970. С. 38–43
3. Малахов Г. М., Безух В. Р., Петренко П. Д. Теория и практика выпуска обрушенной руды. М.: Недра, 1968. 311 с.
4. Камалян Р. З, Камалян С. Р. О моделировании волновых процессов в пластически деформируемых средах // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 4. С. 25–30.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.17.61.004

UDC 624.131+ 539.215

© R. Z. Kamalyan, S. R. Kamalyan, N. S. Nesterova, 2026

**R. Z. KAMALYAN**

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor of Department  
Russian University of Cooperation, Krasnodar  
e-mail: kasarub@gmail.com

**S. R. KAMALYAN**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Head of the Department of the Southern Interregional Security Department  
PJSC «Gazprom», Krasnodar  
e-mail: kasarub@gmail.com

**N. S. NESTEROVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor  
IMIT, Krasnodar

**ON THE PARAMETERS OF FRACTURED MEDIA AND THE REASONABLENESS OF THEIR OPTIMIZATION**

*Many studies have been devoted to modeling the release of the destroyed medium during underground mining.*

*Typically, the purpose of modeling is to optimize the parameters of ore release.*

*This paper focuses on the feasibility of optimizing these parameters to maximize the fit of the release shape within the volume bounded by the contact surfaces.*

*To conduct an industrial experiment to evaluate the optimization results, it is necessary to determine how the dilution process occurs and how it is controlled.*

*The paper provides an example of such a determination.*

Keywords: FRACTURED, PRODUCTION, OPTIMIZATION, PARAMETERS, AND DECONCENTRATION.

**REFERENCES**

1. Kamalyan R. Z., Korolev K. D. On Mathematical Modeling and Optimization of Geometric Parameters of Ore Release // Physical and technical problems of mineral resource development. 1990. No. 3. P. 102–107. [In Russ.].
2. Dubinin N. R., Kramadzhyan A. A. Influence of the material density on the nature of its flow // Underground mining of ore deposits. 1970. P. 38–43. [In Russ.].
3. Malakhov, G. M., Bezukh, V. R., and Petrenko, P. D. Theory and Practice of Releasing Collapsed Ore. Moscow: Nedra, 1968. 311 p. [In Russ.].
4. Kamalyan R. Z., Kamalyan S. R. On Modeling of Wave Processes in Plastically Deformable Media // Izvestiya Vuzov. North Caucasus Region. Natural Sciences. 2013. No. 4. P. 25–30. [In Russ.].