

В.А. Кузнецов, Р.Л. Коротков

## АНАЛИЗ ФОРМУЛЫ БОРЕСКОВА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОДОБИЯ

Взрывание на выброс получило широкое применение во многих областях деятельности от военного дела до горно-строительных работ. В связи с этим, первоочередной задачей является уточнение параметров взорванной выемки. Проведен подробный анализ, широко используемой в отечественной практике, формулы для расчета параметров сосредоточенных зарядов выброса М.М. Борескова.

Ключевые слова: взрывание на выброс, взрываемые породы, глубина заложения заряда, формула М.М. Борескова.

**В**зрывание на выброс, позволяющее реализовать энергию ВВ не только для фрагментации и рыхления горных пород, но и для перемещения взорванной массы, получило широкое применение в целях интенсификации открытых горно-строительных работ.

Разработка теории взрыва на выброс осуществлялась под значительным влиянием трудов отечественных военных инженеров и ученых М.М. Фролова, М.М. Борескова, Г.И. Покровского, Н.В. Мельникова, В.Н. Родионова и др.

Увеличение мощности взрывов на выброс и сброс, расширение используемого диапазона определяющих параметров, возрастающее разнообразие физико-механических свойств массивов взрывааемых пород, усложнение тематических задач, решаемых с помощью взрывов на выброс, — все это определяет необходимость дальнейшего совершенствования методики их анализа и расчета [1, 2].

Так как наиболее существенным практическим результатом взрыва на выброс является образование взорванной выемки («воронки взрыва»), то для отработки методических основ взрывания на выброс первостепенное значение имеет анализ влияния определяющих параметров заряда — его массы  $Q$  и глубины заложения  $W$  на геометрические размеры образованной выемки: ее ширину  $2R$ , видимую глубину  $P$ , высоту навала  $H$  (рис. 1).

Как будет показано ниже, наибольший интерес для расчета зарядов выброса представляет уточнение и анализ зависимости «радиуса», а точнее полураствора взорванной выемки (половины ее ширины поверху, на уровне первоначального рельефа) от глубины заложения заряда и его массы. Характер этой зависимости, многократно проверенный экспериментально, отражен на рис. 2, с увеличением глубины заложения  $W$ , зарядов одинаковой массы  $Q$ , полураствор выемки  $R$  вначале увеличивается от  $R_n$  до  $R_{\text{тах}}$ , затем снижается до нуля при глубине заложения заряда  $W_K$ , соответствующей переходу взрыва в камуфлетный взрыв.

С увеличением массы заряда абсолютные размеры взорванной выемки возрастают. Применение метода подобия позволяет сфокусировать все семейство линий  $R(W)$ , полученных для зарядов различной мощности, в одну «приведенную» линию  $R_{\text{пр}}(W_{\text{пр}})$ , характеризующую взрываемость данного массива на выброс. Аналогичным образом приводятся (фокусируются) семейства линий и совокупности экспериментальных точек, характеризующие зависимость  $P(W)$  и  $R(W)$  при изменяющихся  $Q$  (рис. 3).

Для сосредоточенных зарядов (СЗ) приведение осуществляется по общей массе заряда,  $Q$ :

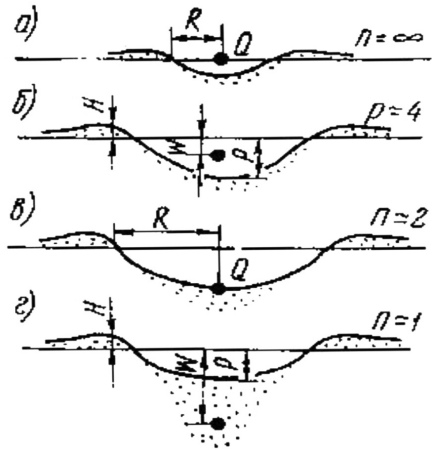


Рис. 1. Изменение размеров взорванной выемки с увеличением глубины заложения заряда  $Q$ :  $n$  — показатель действия взрыва,  $n = R/W$ , (а)–(г) — выемки, образующиеся при взрывании заряда на различных глубинах,  $W$

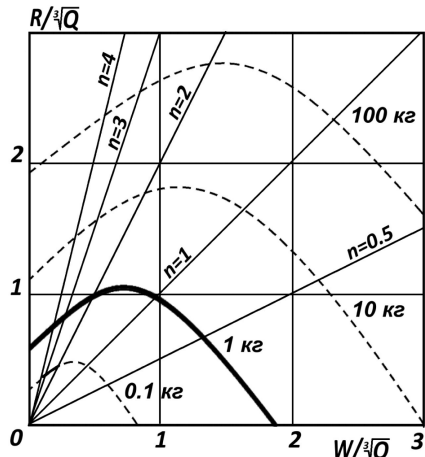


Рис. 2. Приведение всего многообразия линий в одну «приведенную» линию с помощью метода подобия

$$\dot{W} = \frac{W}{Q^a}; \quad \dot{R} = \frac{R}{Q^a}$$

Для линейных зарядов (ЛЗ) в операции приведения целесообразно использовать линейную плотность заряда  $Q_l$  (линейную массу заряда):

$$\bar{W} = \frac{W}{Q_l^\beta}; \quad \bar{R} = \frac{R}{Q_l^\beta}$$

Как свидетельствуют экспериментальные данные, с приближением, достаточным для инженерных расчетов, в широком диапазоне изменения мощности и глубины заложения зарядов выброса соблюдается простое геометрическое подобие, при котором показатели приведения составляют:  $\alpha = 0,33$  (для СЗ),  $\beta = 0,5$  (для ЛЗ).

На рис. 4 представлены экспериментальные данные, отражающие зависимость приведенного радиуса взорванных воронок от приведенной глубины заложения сосредоточенных зарядов в различных горных породах по данным американских исследователей [2].

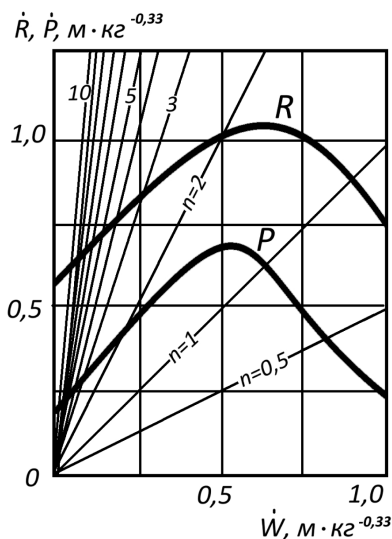


Рис. 3. Зависимость приведенных радиуса взорванной выемки  $R$ , видимой глубины выемки  $P$  и высоты бортового навала  $R$  от приведенной глубины заложения  $W$  в песчаном массиве карьера «Камка-Губа» при влажности песка 4–7%, объемном весе  $1,6 \text{ т/м}^3$  («паспорт взрываемости массива на выброс»)

Из рис. 4 видно, что каждому массиву соответствует своя «индивидуализированная» зависимость  $R_{пр}(W_{пр})$  — характеристическая линия взрываемости массива на выброс. Основными параметрами зависимости  $R_{пр}(W_{пр})$  являются  $R_{пр.макс}$  — максимальный приведенный полураствор взорванной выемки;  $W_{пр.оп}$  — оптимальная приведенная глубина заложения заряда, соответствующая  $R_{пр.макс}$ ;  $R_{пр.п}$  — приведенный полураствор поверхностного (контактного) заряда при  $W=0$ ;  $W_{пр.к}$  — приведенная предельная глубина заложения камуфлетного заряда, при которой  $R_{пр} = 0$ . Аналогичные параметры можно выделить и

для зависимости видимой глубины выемки от глубины заложения заряда  $P_{\text{пр}}(W_{\text{пр}})$ .

Показатель действия взрыва  $n$ , характеризующий отношение радиуса (полураствора) взорванной выемки к глубине заложения заряда, в данном случае можно интерпретировать тангенсом угла наклона к оси абсцисс прямой линии, соединяющей начало координат с соответствующей точкой на графике  $R(W)$  (см. рис. 2, 3):

$$n = R/W = \text{tg} \xi$$

Совокупность графиков  $R_{\text{пр}}(W_{\text{пр}})$  и  $P_{\text{пр}}(W_{\text{пр}})$ , показанная на рис. 2, представляет паспорт взрываемости конкретного массива пород на выброс и является той наиболее надежной и информативной экспериментальной основой, на которой должен базироваться расчет зарядов выброса, — определение массы зарядов, рациональных глубин их заложения и показателей действия взрыва, а также показателей взрываемости горных пород на выброс («удельных расходов ВВ»).

Очевидно целесообразно сохранить установившуюся (экспериментально отработанную) структуру основных расчетных формул в виде:

$$Q = KW^3 f(n) \text{ — для СЗ} \quad (1)$$

$$Q_{\text{д}} = KW^2 f(n) \text{ — для ЛЗ} \quad (2)$$

Синтез их сводится к определению показателя взрываемости массива на выброс  $K$ , и функций  $f(n)$  и  $f_{\text{д}}(n)$  в соответствии с экспериментальными данными, характеризующими зависимость  $R_{\text{пр}}(W_{\text{пр}})$ .

В отечественной практике для расчета сосредоточенных зарядов выброса чаще всего используется формула М.М. Борескова:

$$Q = KW^3 (0,6n^3 + 0,4) \quad (3)$$

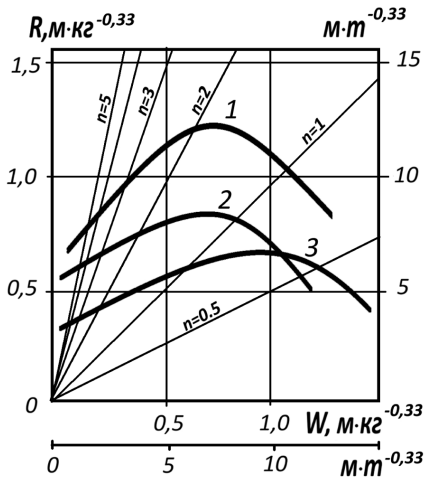


Рис. 4. Зависимость приведенного радиуса взорванной выемки от приведенной глубины заложения сосредоточенных зарядов в массивах горных пород [2]: 1 — глина; 2 — аллювий; 3 — базальт

Метод подобия, представленный выше, позволяет выполнить достаточно простой анализ достоверности данной формулы. С этой целью ее необходимо трансформировать к виду  $\dot{R}(\dot{W})$ , построить график и сравнить характер полученной графической зависимости с экспериментально установленными, отраженными на рис. 3 и 4.

В приведенных параметрах формулу М.М. Борескова можно представить в виде:

$$\dot{R} = \left( \frac{1,67}{K} - 0,67\dot{W}^3 \right)^{0,33} \quad (4)$$

Сравнение на рис. 5 показывает, что характер зависимости  $\dot{R}(\dot{W})$ , прогнозируемый формулой М.М. Борескова, соответствует действительности при  $n < 2$  (в скальных породах при  $n < 1,5$ ). При повышенных показателях действия взрыва это соответствие нарушается и расчет по формуле (3) занижает массу заряда. В диапазоне  $n$  от 1,5 до 2 в скальных породах и от 2 до 2,5–3 в малосвязных грунтах это занижение можно скорректировать показателем взрываемости («удельным расходом»)  $K$ . При дальнейшем увеличении  $n$  такая корректировка способна привести к существенным ошибкам.

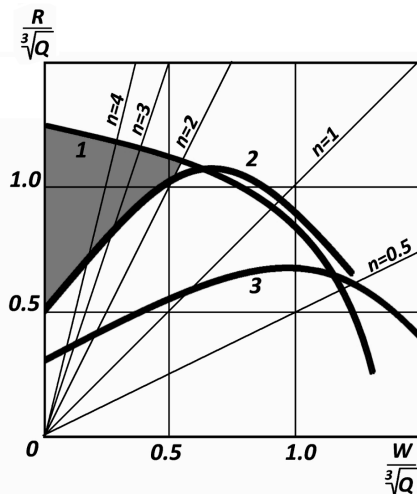


Рис. 5. Сравнение графиков зависимости: 1 – по формуле Борескова; 2 – экспериментальные данные для малосвязных грунтов; 3 – экспериментальные данные для скальных пород

Считается, что для очень мощных зарядов при глубине заложения  $W > 25$  м показатель приведения  $a$  уменьшается (до  $\alpha = 0,29$  для СЗ).

Следует, однако, отметить, что с существенным увеличением глубины заложения заряда, как правило, изменяются геологические условия, возрастает горное давление, плотность и прочность пород; таким образом, кажущееся отклонение от геометрического подобия по своей физической сути может быть связано с переходом в иную, отличную от первоначальной, более прочную взрываемую среду, что должно учитываться не уменьшением показателя приведе-

ния  $a$ , а увеличением показателя взрываемости массива  $K$ . В этой же связи необходимо обратить внимание и на существенное отличие в энергетическом механизме ядерных взрывов (по результатам которых чаще всего и делается вывод об отклонении от геометрического подобия) от энергетики взрывов химических ВВ.

Применение полученных графиков зависимости  $\dot{R}(W)$ , основанных на экспериментальных данных, применимых к различным типам горных пород, позволит существенно сократить ошибки, получаемые при расчете формулой М.М. Боресоква, при повышенных показателях действия взрыва.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докучаев М. М., Родионов В. Н., Ромашев А. Н. Взрыв на выброс. — М.: Изд-во АН СССР, 1963.
2. Нордайт Д. Опыт взрывания на выброс с использованием ядерных и химических ВВ. Разрушение и механика горных пород / Пер. с англ. — М.: ГОСИНТИ, 1962.
3. Кузнецов В. А. Методические основы оценки взрываемости массивов горных пород на выброс / Сборник научных трудов Гидропроект., вып. 141. — М., 1989. — С. 70–78. **ГИАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Виктор Андреевич<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, e-mail: kva939@yandex.ru,

Коротков Роман Леонидович<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: korotkov-roman93@mail.ru,

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 2, pp. 102–108.

UDC 622.235

**V.A. Kuznetsov, R.L. Korotkov**

#### **ANALYSIS OF BORESKY'S FORMULA WHITH AFFINITY METHOD**

Crater blasting has been widely used in many areas of military affairs to the mining and construction works. Accordingly, the first priority task is to refine the parameters of the blasting crater. This article provides a detailed analysis, is widely used in the Russian practice, the Boreskov formula for calculating the parameters of concentrated emissions.

Key words: blasting emissions, blow up rocks, the depth of laying the charge, the formula by M. M. Boreskov

#### AUTHORS

Kuznetsov V.A.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: kva939@yandex.ru,

Korotkov R.L.<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: korotkov-roman93@mail.ru,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

## REFERENCES

1. Dokuchaev M. M., Rodionov V. N., Romashev A. N. *Vzryv na vybros* (Crater Blasting), Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1963.
2. Nordayk D. *Opyt vzryvaniya na vybros s ispol'zovaniem yadernykh i khimicheskikh VV. Razrushenie i mekhanika gornykh porod*. Per. s angl. (Experience of crater blasting with using nuclear and chemical explosions. English–Russian translation), Moscow, GOSINTI, 1962.
3. Kuznetsov V. A. *Sbornik nauchnykh trudov Gidroproekta*, вып. 141 (Methodical evaluation of mass blasting ability for crater blasting, issue 141), Moscow, 1989, pp. 70–78.



## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### УКРЕПЛЕНИЕ СКЛОННЫХ К ОПЛЫВАНИЮ ОТВАЛЬНЫХ ОТКОСОВ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

*Тамашкович Нандор* — Геотехнологический институт, Фрайбергский технический университет, Германия.

Описано спонтанное разжижение песчаных грунтов, которое относится к наиболее опасным типам геотехнических аварий. Локальное разжижение может возникать внезапно и спровоцировать опасное движение породных масс на больших площадях. Наиболее консервативное и долгосрочное техническое решение по стабилизации разжижения грунтов на рабочих площадках значительных размеров, это их уплотнение до необходимого и достаточного уровня с применением плавного, быстрого и экономичного метода уплотнения грунта в сочетании с инженерно-геологической оценкой грунтов. При неблагоприятных геотехнических условиях может применяться цементация грунта в качестве альтернативного и весьма эффективного метода стабилизации.

Ключевые слова: разжижение, оплывание, уплотнение, отвалы, песчаные грунты.

### REMEDICATION APPROACHES FOR LIQUEFACTION SUSCEPTIBLE DUMPS OF FORMER OPENCAST LIGNITE MINES

*Tamaskovics Nandor*, Geotechnical Institute, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany.

The spontaneous liquefaction of soils belongs to the most dangerous types of failure in geotechnics. A local liquefaction failure can occur without any previous signs and trigger a harmful mass movement extending to large areas. The grouting material must be environmentally compatible, must exhibit a strong stability against leaching out in the ground water and must be economically advantageous at the same time. The optimum solution would be the utilization of a harmless industrial residual material that would reach substantial shear strength and would have a long term leach out stability in ground water at the same time. Lignite ashes as residuals from coal energy production have been successfully tested but their environmental compatibility is still questioned. The static partial compaction (StaPaC) method unifies ground exploration, densification and quality control in one single process and is economically feasible to induce the necessary and sufficient density change level into liquefaction susceptible dump soils of former opencast lignite mines that their economic reuse can be guaranteed on a very low latent residual risk level.

Key words: liquefaction, dumps, sand, soil compaction, cementation.