



УДК 622.236.4:51-7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВАЛА БУРОВЗРЫВНОГО БЛОКА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЕЗНОГО КОМПОНЕНТА ВО ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЕ

Е. Г. ЖИЛЯКОВ¹⁾
С. Г. КАБЕЛКО²⁾

*¹⁾ Белгородский
государственный
университет*

²⁾ ФГУП ВИОГЕМ

e-mail: kabelko@mail.ru

Основным способом разрушения скального массива при открытой разработке месторождений полезных ископаемых является буровзрывной. Тело созданной взрывом кусковой горной массы по своей конфигурации и внутреннему строению существенно отличается от целика, при разрушении которого эта масса образовалась. В работе построена математическая модели развала буровзрывного блока и распределения содержания полезного компонента во взорванной горной массе.

Ключевые слова: моделирование развала, моделирование взрыва, распределение полезного компонента в развале.

Качественное дробление пород и рудных тел позволяет применить на карьерах высокоэффективные технологические схемы выемки, снижает простои оборудования и нежелательное разубоживание и дает возможность проведения предварительной внутризабойной селекции при выемке руды [1].

Для количественной оценки показателей, определяющих качество взрыва, и зависимостей этих показателей от природно-технологических факторов необходимо математическое описание процесса развала буровзрывного блока. В связи со сложностью математического описания явлений, сопровождающих взрыв в горном массиве, и необходимостью учета большого числа природно-технологических факторов при теоретическом исследовании взрыва общую задачу обычно расчлняют на ряд частных задач и изучают отдельные характерные явления процесса, абстрагируясь от остальных [2]. При исследовании взрывов на дробление, как правило, рассматривают два основных вопроса:

- определение ширины и формы развала блока;
- прогнозирование гранулометрического состава взорванной массы.

Предложено большое количество полуэмпирических зависимостей для расчета ширины развала буровзрывного блока и начальной скорости выброса породы при взрывании скважинных зарядов [1]. Авторы анализируют результаты многочисленных экспериментальных исследований по изучению влияния на ширину и скорость развала блока различных природных и техногенных факторов, приводят схематические подходы к решению задачи определения ширины и структуры развала (схемы Е.Г. Баранова, Н.А. Тангаева, В.А. Болдырева, Г.Г. Ломоносова, Б.Р. Ракишева, А.В. Гальянова). Из применяемых в некоторых схемах математических моделей следует отметить модель внешней баллистики и модель общей теории деформаций. Авторы отмечают, что алгоритм построения математической модели необходимо строить исходя из этапности процесса разрушения: первый – этап расширения под действием взрыва, второй – полет частиц разрушенного массива и третий – формирование развала. Все приведенные схемы и модели развала блока и изменения его структуры предполагают наличие плоской симметрии (двумерная задача).

Для достижения качественного дробления необходимо определить оптимальную плотность заряжения скважин ВВ, при которой обеспечивается: требуемый средний размер куски в раздробленном блоке, выход негабарита не превышает нормативных величин, а доля энергии, затрачиваемой на баллистическое движение раз-

дробленной руды, будет минимальной [3]. При определении гранулометрического состава оперируют интегральными величинами, то есть принимают энергетический критерий разрушения. Распределение разрушенного материала в пространстве не рассматривается.

Вопросы распределения полезного компонента во взорванной горной массе как при моделировании ширины и формы развала, так и при определении гранулометрического состава, в настоящее время остаются открытыми.

Цель настоящей работы – построение объемной математической модели развала буровзрывного блока и распределения содержания полезного компонента во взорванной горной массе, в которой будут отражены зависимости процесса от максимально возможного числа природно-технологических факторов.

Для построения численной модели используется расчетная сетка, которой буровзрывной блок разбивается взаимно перпендикулярными плоскостями на элементарные ячейки (блочная модель) и рассматривается взаимодействие между фрагментами блока, находящимися в этих ячейках, в различные моменты времени.

При описании явлений, происходящих при взрыве зарядов ВВ в буровзрывном блоке, необходимо рассматривать состояние горной массы на разных временных масштабах:

- развитие детонации, вылет забойки – единицы миллисекунд;
- развитие системы трещин, дробление частей блока – десятки миллисекунд;
- развал блока и разлет раздробленных кусков – секунды.

Поэтому для моделирования взрыва одного ряда скважин при короткозамедленном взрывании последовательно решаются следующие задачи:

- расчет распределения потенциалов и начальных скоростей, определение области разрушения;
- дезинтеграция разрушенной части буровзрывного блока;
- баллистический разлет и формирование развала.

На первом этапе, следуя О.Е. Власову и С.А. Смирнову, примем допущение о мгновенности передачи энергии взрыва среде и о несжимаемости самой среды. Тогда для элементов (частиц) среды, окружающей заряды, можно использовать закон сохранения импульса [2]:

$$\rho \frac{d}{dt} V = -grad(p) + F,$$

где ρ – плотность среды; V – вектор скорости частиц среды; p – давление; F – вектор массовых сил.

За малый промежуток времени частицы среды почти не изменяют своего положения, значения давления при взрыве p достигают очень больших величин, а различие в плотностях пород относительно невелико. В результате допущений формула приводится к виду:

$$V(x, y, z) = grad \varphi(x, y, z), \tag{1}$$

где $\varphi(x, y, z) = -P(x, y, z) / \rho(x, y, z)$; $P(x, y, z) = \int_0^t p(x, y, z, t) dt$ – импульс давления;

$p(x, y, z, t)$ – давление в блоке; $\rho_c(x, y, z)$ – плотность среды, составляющей блок.

Пользуясь уравнением сохранения массы ($div V = 0$), получаем уравнение Лапласа:

$$\varphi_{xx}(x, y, z) + \varphi_{yy}(x, y, z) + \varphi_{zz}(x, y, z) = 0 \tag{2}$$

Для нахождения $\varphi(x, y, z)$ уравнение Лапласа (2) необходимо дополнить граничными условиями. На открытых поверхностях S_0 постановка граничных условий очевидна:

$$\varphi|_0 = 0, \tag{3}$$

Предположим в отличие от допущения О.Е. Власова и С.А. Смирнова [2], что при взрыве в массив переходит не вся энергия, а лишь ее часть. Для этого в качестве верхнего предела интегрирования в формуле для импульса давления возьмем не полное время импульса, а малое время τ_b , то есть время до вылета забойки. Как известно [5], это время равно 5-8 мс, что на порядок меньше безопасного времени замедления при короткозамедленном взрывании ~ 50 мс.

Таким образом, мы предполагаем, что энергия газообразных продуктов взрыва после вылета забойки не затрачивается на формирование поля скоростей и дробление массива, а теряется, уходя с конвективным потоком отработавших газов. Тогда на поверхности n -ой скважины S_n потенциал φ будет удовлетворять следующему граничному условию:

$$\varphi|_{S_n} = S_n.$$

Для задания φ_{sn} для каждой скважины требуется вычисление интеграла:

$$\int_{t(z)}^{\tau_b} p_1(x, y, z, t) dt,$$

где τ_b – время до вылета забойки; $p_1(x, y, z, t)$ – давление в среде на поверхности скважины; $t(z)$ – момент времени, при котором нижний срез забойки проходит расстояние z от своего первоначального положения.

Уравнение для определения функции $t(z)$ можно получить из уравнения движения забойки, приведенного в [5]. Искомое уравнение имеет вид:

$$d^2t/dz^2 = \frac{P_{max} h_3^3 g (dt/dz)^2}{((h_{заб} - z)(h_3 + z)^3 \gamma_{заб}},$$

где, $h_{заб}, h_3$ – соответственно длина забойки и заряда; $P_{max} = 1/8 D^2 \rho$; D – скорость детонации заряда; $\rho_{вв}$ – плотность заряда; g – ускорение свободного падения; $\gamma_{заб}$ – удельный вес забойки.

Для определения функции $p_1(t)$ (мгновенное давление на поверхности скважины) необходимо учесть поправку на соотношение импедансов горной среды и продуктов взрыва, а также изменение объема самой скважины при взрыве. Тогда выражение $p_1(t)$ для отдельной скважины будет иметь вид [5,4]:

$$p_1(t) = 2p(t)(V/V_0)^{1,25} / ((1 + \rho_{вв} D / (\rho_c D_c)),$$

где $p(t)$ – мгновенное давление в продуктах взрыва, определяемое по формуле [5]

$$p(t) = \frac{1}{8} \rho_{вв} D^{8/3} L^{-2/3} t^{2/3} \exp\left(1 - (Dt/L)^{2/3}\right),$$

D – скорость детонации, V, V_0 – конечный и начальный объемы продуктов взрыва, D_c – скорость упругой волны в среде, L – длина заряда.

Тогда граничное условие для скважин будет иметь вид:

$$\varphi|_{S_n} = - \int_{t(z)}^{\tau_b} 2p(t)(V/V_0)^{1,25} / ((1 + \rho_{вв} D / (\rho_c D_c)) dt) / \rho_c. \quad (4)$$

Для камуфлетного взрыва граничные условия в массиве задаются на бесконечности (внешняя задача теории потенциала). В случае взрыва в буровзрывном блоке предлагается следующий подход. За время до вылета забойки, которое принимается равным ~ 10 мс упругая волна (при средней скорости ее распространения 5000 м/с) пробежит расстояние ~ 50 м. Следует учесть, что массив уже нарушен под действием предыдущих взрывов и скорость распространения упругих волн в нем снижена. Поэтому, импульсом давления на расстоянии 50 м от места расположения скважин можно пренебречь, тогда граничные условия на таких поверхностях S_m можно приближенно представить в виде:

$$\varphi|_{S_m} = 0. \quad (5)$$

Решая уравнение (2) при граничных условиях (3,4,5) (задача Дирихле), находим распределение потенциала скорости $\varphi(x,y,z)$ в буровзрывном блоке. Используя формулу (1), получаем поле скоростей среды в ячейках буровзрывного блока, которое является исходным распределением для определения начальных скоростей для этапа дезинтеграции и разрыхления, предшествующих окончательному процессу развала по законам внешней баллистики.

При детонации ВВ в буровзрывном блоке происходит дробление горной массы, слагающей этот блок, и последний из исходного состояния переходит в состояние дискретного множества кусков. Сложность перехода к баллистической стадии развала заключается в том, что время до вылета забойки, ограниченное несколькими мс, и время, необходимое для разрушения среды τ_p , вычисляемое по формуле [1]:

$$\tau_p = 22W/C_p,$$

где W – линия наименьшего сопротивления, C_p – скорость распространения взрывной волны в массиве, имеют одинаковый порядок.

Исходя из вышеизложенного, мы вынуждены считать, что в начальный период взрыва параллельно происходят два процесса: дезинтеграция блока и перераспределение поля начальных скоростей дезинтегрирующейся среды. Для описания этих особенностей введен промежуточный этап процесса развала буровзрывного блока – этап его дезинтеграции. На этом этапе происходит процесс образования “купола” [1] и формируется распределение скоростей, являющееся “начальным” для баллистической стадии.

При дезинтеграции среды в элементарных ячейках буровзрывного блока под действием сдвиговых напряжений происходит ее дилатансионное разупрочнение [4], сопровождающееся разрыхлением среды и изменением распределения скоростей.

В качестве критерия разрушения используется критическая скорость смещения $v_{кр}$. Формула для ее вычисления имеет вид [2]:

$$V_{кр} = \sigma_{кр} / \sqrt{\rho_c E}$$

где $\sigma_{кр}$ – предельное напряжение на сжатие, отрыв или сдвиг для материала, заполняющего ячейку, ρ_c и E – соответственно плотность среды и модуль упругости среды в этой ячейке.

Тогда, по О.Е. Власову критерий разрушения принимает вид:

$$a \leq v_{кр} / \sqrt{D/3},$$

где a – размер области, которая должна сохраниться целой, D – критерий дробимости, который равен:

$$D = \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial x}\right)^2$$

Считаем, что для блоков, граничащих со свободной поверхностью либо разрушенных ранее произведенным взрывом, $\sigma_{кр}$ принимается равным предельному напряжению на растяжение, а для внутренних блоков оно равно предельному напряжению на сдвиг или сжатие. В соответствии с выводами [1], мерой разрыхления массива является коэффициент разрыхления $K_p = \text{div} \mathbf{U}$ (\mathbf{U} - вектор смещения элементов блока). Этот вывод делается на основании общей теории деформации, но он справедлив лишь при малых деформациях блока. Тогда, учитывая кратковременность этапа дезинтеграции, можем определить коэффициент разрыхления K_p для каждого элементарного объема среды. Он является функцией координат объема в блоке и вычисляется по формуле $K_p = \tau_p \text{div} \mathbf{V}$.

При дилатансионном разрыхлении за счет появления трещин происходит передвижение среды в сторону открытых поверхностей. Это явление сопровождается перераспределением объемов разрыхленной части буровзрывного блока в сторону



открытых поверхностей, что приводит к перераспределению поля скоростей. Коэффициент разрыхления равен:

$$K_p = V_2 / V_1 = 1 + \tau_p (\partial v_x / \partial x + \partial v_y / \partial y + \partial v_z / \partial z),$$

где V_1, V_2 – соответственно значения элементарных объемов до и после разрыхления, v_x, v_y, v_z – проекции вектора скорости на координатные оси, τ_p – время дезинтеграции. В данной формуле учитываются только положительные слагаемые (производные), соответствующие расширению материала в элементарных ячейках вдоль той или иной координатной оси, а значения этих производных вычисляются по функции $\varphi(x, y, z)$, найденной на первом этапе решения задачи. Найденным значениям K_p соответствуют объемы твердой фазы, подлежащие перераспределению в соседние ячейки в процессе дезинтеграции.

Для определения весовых коэффициентов, определяющих части этих объемов, подлежащего перемещению в каждую из 26 соседних ячеек, по каждому направлению подсчитывается средняя порозность $(1 - K_p)V_1$ в этом направлении. Искомые весовые коэффициенты равны отношениям средних порозностей по направлениям к сумме средних значений порозности по всем 26 направлениям. Распределение разрушенных объемов в соответствии с заданными коэффициентами производится до тех пор, пока рассчитанный для каждой ячейки объем твердой фазы не будет соответствовать принятому для нее коэффициенту разрыхления K_p .

Распределение скоростей в ячейках разрушенного после дезинтеграции объема рассчитываются по формулам:

$$v_i = \Delta V_i / S_i \tau_p,$$

где ΔV_i – перемещаемый в направлении i -ой координаты объем; v_i – новое значение проекции скорости на i -ую ось; S_i – площадь поперечного сечения; τ_p – время дезинтеграции.

Содержание полезного компонента в разрушенной среде в элементарных ячейках пересчитывают по формуле:

$$c = (c_1 V_1 + c_2 V_2) / (V_1 + V_2), \quad (6)$$

где c – новое значение параметра; $c_1 V_1$ – значение параметра и объема перед перераспределением объемов; $c_2 V_2$ – значение параметра и объема приходящие в ячейку при перераспределении объемов.

Найденные величины являются начальными данными для этапа формирования развала.

Полученное распределение скоростей также является начальным для этапа баллистического движения материала в элементарных ячейках буровзрывного блока.

На третьем этапе происходит баллистическое движение среды из элементарных ячеек после дезинтеграции.

В проекциях на оси декартовой системы координат уравнения баллистики будут иметь вид [9]:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -bv_x |V| \\ \frac{dv_y}{dt} = -bv_y |V| \\ \frac{dv_z}{dt} = -bv_z |V| - g \end{cases}, \quad (7)$$

где V – модуль вектора скорости, $v_x = dx / dt$; $v_y = dy / dt$; $v_z = dz / dt$ – проекции вектора скорости на оси декартовой системы координат, g – значение ускорения свободного падения, t – время; b – коэффициент сопротивления.

Начальные условия для решения системы уравнений баллистики принимают вид $x(0)=x_0$; $y(0)=y_0$; $z(0)=z_0$; $v_x(0)=v_{x0}$; $v_y(0)=v_{y0}$; $v_z(0)=v_{z0}$. Значения v_{x0} , v_{y0} , v_{z0} для каждой ячейки определяют при решении второго этапа задачи.

Коэффициент b находится по формуле $b = 1,3/(x_{cp}\rho_c(x,y,z))$ [1,9], а средний размер кусков раздробленного массива x_{cp} приближенно определяется выражением $x_{cp}=(d_{скв})^{0,95}$ [10] ($d_{скв}$ – диаметр скважины).

Систему уравнений баллистического движения твердой фазы решаем для каждой элементарной ячейки. При этом находим изменение скоростей центров масс материала во всех ячейках за малый промежуток времени Δt , который подбираем в численных экспериментах.

Так как процесс полета среды на баллистической стадии является случайным (стохастическим), перераспределение объемов между ячейками происходит случайным образом.

Для описания этого процесса используем известную функцию распределения плотности вероятности перехода [11].

Проекции вектора средней скорости материала в ячейке (снос) и коэффициент диффузии для элементарных ячеек принимаем постоянными (модель изотропных блужданий со сносом). При таких предположениях решение уравнения Колмогорова имеет вид :

$$f(\lambda, t) = \frac{1}{\sqrt{\pi Nt}} e^{-\frac{(\lambda - \lambda_0 - \mu t)^2}{Nt}},$$

где $f(\lambda, t)$ – плотность вероятности перехода среды из положения λ_0 в положение λ за время t ; $\lambda = \{x, y, z\}$; $\mu = \{v_x, v_y, v_z\}$; N – коэффициент диффузии.

Вероятности перехода в соседнюю ячейку по осям x, y, z определяем по формуле

$$P(\lambda, t) = \int_{\lambda - \Delta\lambda}^{\lambda + \Delta\lambda} f(\lambda, t) d\lambda,$$

где $\Delta\lambda$ – половина размера ячейки.

Используя вычисленные вероятности в качестве весовых множителей, перераспределяем объемы среды в соседние ячейки. При переходе объемов среды в соседние ячейки для них осуществляем перерасчет проекций скоростей центров масс v по закону сохранения импульсов:

$$v = (V_1v_1 + V_2v_2)/(V_1 + V_2),$$

где V_1, V_2 – соответственно начальный объем твердой фазы в соседней ячейке и объем поступающий в нее за время Δt ; v_1, v_2 – значения проекций скорости в соседней ячейке и скорости среды, поступающей в нее.

На следующем интервале времени в качестве начальных скоростей используем вычисленные на предыдущем интервале значения проекций скоростей. Данные вычисления производят до тех пор, пока весь разрушенный объем блока не достигнет горизонта падения, и горизонтальные составляющие вектора абсолютной скорости центра масс материала в ячейках не станут нулевыми. Параметры среды в элементарных ячейках, совершающей баллистическое движение, пересчитываем по формуле(6).

При многорядном короткозамедленном взрывании взрыв каждого ряда скважин оказывает влияние на поведение ранее взорванной среды. Так как время дезинтеграции ~ 62 мс, а интервал замедления ~ 50 мс, вычисления по математической модели производятся в следующей последовательности:

- расчет распределения потенциалов и начальных скоростей при взрыве 1-го ряда скважин;
- дезинтеграция разрушенной части буровзрывного блока при взрыве 1-го ряда скважин;
- расчет распределения потенциалов и начальных скоростей при взрыве 2-го ряда скважин;
- дезинтеграция разрушенной части буровзрывного блока при взрыве 1-го и 2-го рядов скважин;

- баллистический разлет и формирование развала для 1-го ряда скважин;
 - расчет распределения потенциалов и начальных скоростей при взрыве 3-го ряда скважин;
 - дезинтеграция разрушенной части буровзрывного блока при взрыве, 2-го и 3-го рядов скважин;
 - баллистический разлет и формирование развала для 1-го и 2-го ряда скважин.
- Операции повторяются в такой же последовательности для следующих рядов скважин сети коммутации.

Реализация математической модели развала осуществляется на базе комплекса ГИС ГЕОМИКС. Это позволяет использовать исходную геологическую, маркшейдерскую и буровзрывную информацию по взрываемому блоку путём импорта из соответствующих модулей, а также использовать инструмент для работы с блочными моделями и поверхностями.

В качестве исходных данных для проведения численных экспериментов использовались результаты промышленных взрывов по 12 буровзрывным блокам на Лебединском карьере. Сравнивались поверхности, полученные при моделировании и по результатам стереосъемки карьера после взрыва. Очевидно, что при совпадении формы развала с высокой долей вероятности можно утверждать об адекватности распределении полезного компонента во взорванной горной массе. Подбором экспериментальных коэффициентов добились необходимой сходимости по всем блокам. При этом для шести блоков и для четырёх блоков были подобраны одинаковые коэффициенты. В данный момент продолжаются численные эксперименты с целью изучения зависимостей коэффициентов от структуры, трещеноватости и др. характеристик горного массива.

Результаты моделирования развала представлены на рисунках 1, 2 и 3.

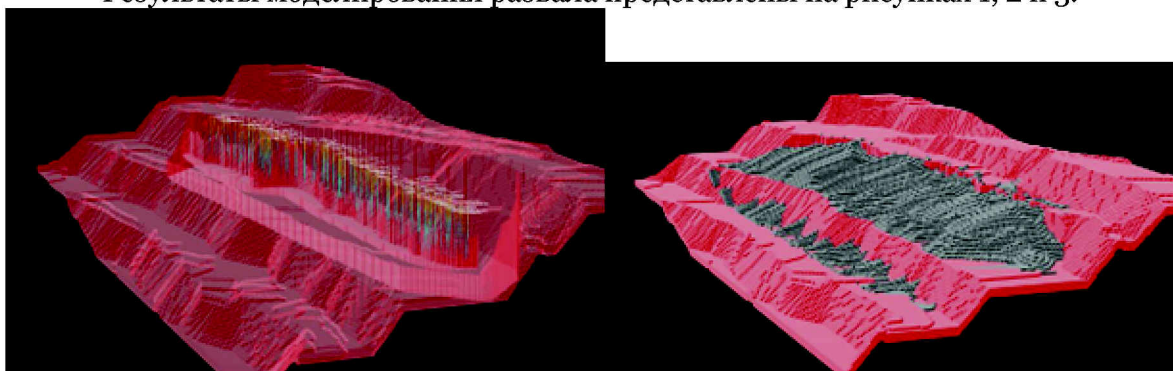


Рис. 1. Блочная модель буровзрывного блока а) до взрыва; б) после взрыва

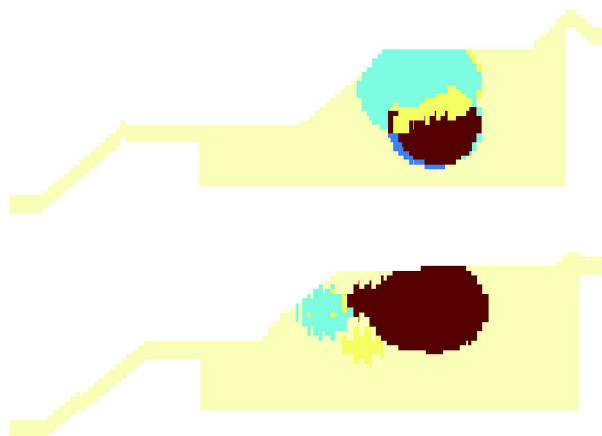


Рис. 2. Распределение содержания Гемгн в вертикальных сечениях целика

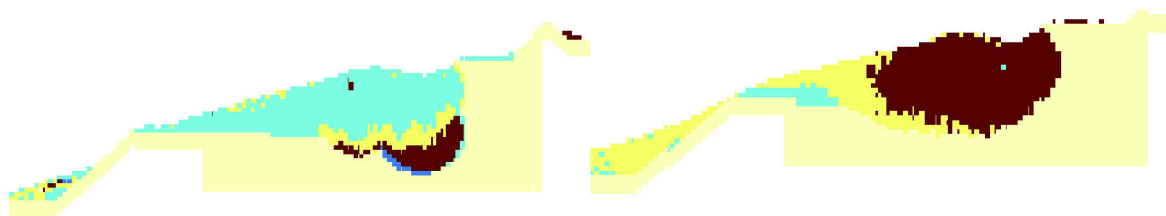


Рис. 3. Распределение содержания Femгн в вертикальных сечениях развала

Литература

1. Гальянов, А.В. Трансформация структуры горных массивов при взрывных работах на карьерах [Текст] / А.В. Гальянов, В.Н. Рождественский, Ф.Н. Блинов. Екатеринбург, 1999. – 140 с.
2. Боровиков, В.А. Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород [Текст] / В.А. Боровиков, И.Ф. Ванягин. – М.: Недра, 1990. – 231 с.
3. Оксанич, И.Ф. П.С. Миронов Закономерности дробления горных пород и прогнозирование гранулометрического состава [Текст] / И.Ф. Оксанич, П.С. Миронов. – М.: Недра, 1982. – 166 с.
4. Кузнецов, В.М. Математические модели взрывного дела [Текст] / В.М. Кузнецов. Изд-во “Наука”, Новосибирское отд., Новосибирск, 1977. – 762 с.
5. Друкованый, М.Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах [Текст] / М.Ф. Друкованый, В.С. Куц, В.И. Ильин. – М.: Недра, 1980. – 223 с.
6. Корн, Г. Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т.Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.
7. Зельдович, Я.Б. Элементы математической физики [Текст] / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. – М.: Наука, 1973. – 351 с.
8. Капутин, Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика [Текст] / Ю.Е. Капутин. – Санкт-Петербург, 2002. – 424 с.
9. Черниговский, А. А. Метод плоских систем зарядов в горном деле и строительстве. [Текст] / А.А. Черниговский. – М.: Недра, 1977. – 244 с.
10. Мосинец, В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах [Текст] / В.Н. Мосинец. – М.: Недра, 1976. – 271 с.
11. Тихонов, В.И. Марковские процессы [Текст] / В.И. Тихонов, М.А.Миронов. – М.: Радио, 1977. – 488 с.
12. Серый, С.С. ГИС ГЕОМИКС – интегрированная информационная система геолого-маркшейдерского обеспечения открытых и подземных горных работ [Текст] / С.С. Серый, В.А. Дунаев, А.В. Герасимов.// Сборник докладов Международного семинара "Передовые технологии проектирования буровзрывных работ на карьерах". Бишкек, 2006, с. 87-89.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE COLLAPSE OF THE BLASTING UNIT AND THE DISTRIBUTION OF THE CONTENT OF USEFUL COMPONENT IN THE BLASTED ROCK MASS

**E. G. ZHILYAKOV¹⁾
S. G. KABELKO²⁾**

¹⁾ *Belgorod State University*

²⁾ *FSUE VIOGEM
e-mail: kabelko@mail.ru*

The main way to destroy rock mass in the open mining is blasting. The body created by the explosion lumpiness of rock mass on its configuration and internal structure differs substantially from the rear sight, with the destruction of which this mass was formed. In this paper a mathematical model of the collapse of the blasting unit and the distribution of the content of useful component in the blasted rock mass.

Key words: modeling the collapse, explosion modeling, the distribution of useful component in the collapse.