

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПОРОДЫ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ В РАЙОНЕ ОКОЛОСТВОЛЬНОГО ДВОРА РУДНИКА ГРЕМЯЧИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

С.С. Андрейко, В.М. Мальцев, В.В. Аникин

Горный институт Уральского отделения Российской академии наук,  
Пермь, Россия

Приводятся результаты аналитических исследований воздействия на окружающий массив горных пород взрывных работ, производимых при проходке выработок околоствольного двора в руднике Гремячинского горно-обогательного комбината. Определены безопасные параметры взрывных работ, обеспечивающие сплошность водозащитной толщи, представленной тремя соляными слоями с прослоями ангидритодоломитовых пород. В расчетах короткозамедленный взрыв комплекта шпуровых зарядов моделировался взрывом одиночного сосредоточенного заряда эквивалентной массы взрывчатого вещества того же типа, воздействие на массив которого интенсивнее воздействия реального шпурового взрыва. Приводятся таблица параметров взрыва, график и формулы для расчета скорости смещения частиц породы во взрывной волне (массовая скорость) в зависимости от расстояния до центра взрыва, измеряемого в метрах, в относительных и приведенных единицах расстояния. При этом геометрическое подобие взрыва моделирует воздействие на массив горных пород реального крупномасштабного взрыва скважинных или шпуровых зарядов взрывчатых веществ на расстоянии, превышающем длину скважины (шпура), действием взрыва сосредоточенного заряда меньшей (или той же) массы взрывчатого вещества. Расстояние от центра взрыва измеряется не в метрах, а в относительных или приведенных расстояниях, выражаемых в радиусах шарового заряда, в длине ребра кубического заряда той же или измененной массы взрывчатого вещества относительно реального взрыва. При этом установлены четкие правила перехода из одной системы измерения расстояний в другую для возможности сравнения результатов действия разномасштабных взрывов. При наличии этих переходных правил легко пересчитываются коэффициенты в формулах взрывных параметров, в частности для наиболее важного параметра разрушения – скорости смещения частиц породы во взрывной волне в зависимости от расстояния до центра взрыва. Размеры зон различного действия взрыва на массив горных пород также могут быть выражены в любой системе измерения расстояний.

В статье делается допущение, что при аналогии физико-механических свойств пород соляных месторождений можно использовать экспериментальные результаты исследования Верхнекамского месторождения для аналогичных исследований на Гремячинском месторождении.

**Ключевые слова:** взрывные работы, водозащитная толща, акустическая жесткость пород, радиус заряда, относительные и приведенные расстояния, шаровой и кубический заряд, массовая скорость, смещение частиц, геометрическое подобие взрыва, энергия взрыва, импульс взрыва, давление, напряжение.

## EVALUATION OF EXPLOSION INFLUENCE ON THE WATERPROOF ROCKS IN SHAFT BOTTOM AREA OF GREMIACHINSK MINING AND PROCESSING PLANT

S.S. Andreiko, V.M. Maltsev, V.V. Anikin

Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

The results of analytical studies of the explosion impact on the surrounding rock massif are presented. Explosion was performed during shaft bottom sinking of Gremiachinsk mining and processing plant. Safety parameters of explosion operations are determined to ensure continuity of the waterproof stratum (WPS), represented by three salt layers interbedded with anhydrite and dolomite rocks. In the calculations of slow motion explosion of blast hole charge it was simulated by explosion of single blast equal to the mass of blast material same kind but has bigger influence on rock massif than real blast hole explosion.

Following are presented: the table with explosion parameters, chart and formulas for calculation of rock particles displacement rate in the explosion wave (mass rate) in relation with distance to explosion center in meters of relative units of distance. Wherein explosion influence on rock massif of small (or the same) charge simulate geometric similarity of real big scale explosion in well or blast hole at the distance bigger than well or blast hole length. The distance from explosion center measured in relative or specific value represented as sphere charge radiuses or length of edge of cubic charge of equal to the mass of real explosion. There is between these two different systems of distance measurement the set of rules of transition from one system to another for comparison of the results of different scale explosions.

In presence of transitional rules, coefficients in the formulas of explosion parameters are easily calculated depending on the distance to explosion center in particular for the most important destruction parameter of rock particles displacement rate in explosion wave. Dimensions of zones of various explosion effect on rock massif can also be expressed in any distance measurement system.

It is assumed in the article that in case of analogy of physical and mechanical properties of salt field rocks it is acceptable to use experimental results of the Verkhnekamsk field for similar studies of Gremiachinskoe field.

**Keywords:** explosion works, waterproof stratum, acoustic rigidity of the rock, blast radius, relative and specific distances, sphere and cubic blast, mass rate, particles displacement, geometrical explosion similarity, explosion energy, explosion impulse, pressure, stress.

### Введение

Разработка Гремячинского месторождения калийных солей подземным способом предусматривает высокие требования к защите рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината от проникновения в него подземных вод и рассолов. Защита рудника от затопления должна обеспечиваться ненарушенной частью водонепроницаемых пород, расположенных непосредственно над разрабатываемым пластом и представляющих собой водозащитную толщу (ВЗТ). За ВЗТ в условиях шахтного поля рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината принимается часть разреза массива горных пород, расположенного между кровлей верхнего сильвинитового пласта и кровлей первого сверху пласта каменной соли, включающая в себя чередование соляных (слои каменной соли) и несоляных пород (ангидрит, доломит, глина и др.) кунгурского яруса пермской системы. Минимальная мощность ВЗТ на Гремячинском месторождении – 60 м.

Отложения кунгурского яруса на Гремячинском месторождении представлены пятью ритмопачками (снизу вверх): погожской, антиповской, пигаревской, долинной и ерусланской. В основании каждой из них залегают несоляные породы, а выше по разрезу – каменная соль с редкими прослойками несоляных пород. При проведении расчетов по оценке влияния буровзрывных работ на устойчивость водозащитной толщи использовались данные о строении по результатам бурения геолого-разведочных скважин № 23 (ствол 1) и № 22 (ствол 2). Так, по данным скважины № 22 мощности пород, слагающих ВЗТ в районе ствола 2, следующие: погожская пачка – несоляные породы – 29,9 м, соляные породы – 3,6 м; антиповская пачка – несоляные породы – 29,7 м, соляные породы – 50,7 м; пигаревская, долин-

ная и ерусланская пачки отсутствуют. Общая мощность ВЗТ по данным скважины № 22 составляет 113,9 м, из них мощность соляных пород – 54,3 м. По данным скважины № 23 мощности пород, слагающих ВЗТ в районе ствола 1, следующие: погожская пачка – несоляные породы – 22,9 м, соляные породы – 3,2 м; антиповская пачка – несоляные породы – 29,1 м, соляные породы – 49,0 м; пигаревская, долинная и ерусланская пачки отсутствуют. Общая мощность ВЗТ по данным скважины № 22 составляет 104,2 м, из них мощность соляных пород – 52,2 м.

При оценке влияния производства взрывных работ на состояние водозащитной толщи в процессе проведения выработок околоствольного двора буровзрывным способом рассматривались возможные варианты ведения взрывных работ на глубинах 1085,0–1108,0 м в слоях ангидритовой, ангидритогалитовой и магнезиально-доломитоангидритовой породы с прослойкой каменной соли общей мощностью 23,5 м (по данным скважины № 22). Отсюда, в зависимости от привязки выработок околоствольного двора в геологическом разрезе – ангидритовые породы, ангидритогалитовые породы или магнезиально-доломитоангидритовые породы, мощность ВЗТ над выработками будет изменяться от 80,5 до 103,5 м.

Породы, залегающие в исследуемой толще, по основным физико-механическим свойствам довольно однородны (табл. 1). Отклонения параметров от средних значений в основном не превышают 30 %, а наиболее важного (акустической жесткости) – менее 10 %.

Средняя акустическая жесткость пород налегающей толщи  $A_{cp} = 9,4$  МНс/м<sup>3</sup>. У каменной соли акустическая жесткость меньше  $A_{cp}$  на 8 %. В данных условиях затухание взрывного импульса с расстоянием может быть описано единой математической зависимостью.

Таблица 1

Физико-механические свойства пород в пластах налегающей толщи выше уровня производства взрывных работ

Порода	Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Прочность на разрыв $\sigma_{р}$ , МПа	Модуль упругости $E$ , ГПа	Коэффициент Пуассона $\mu$	Акустическая жесткость $A$ , МНс/м <sup>3</sup>
Каменная соль	22,9–28,9	0,27–0,72	2,5–3,5	0,3–0,45	8,65
Смешанный пласт	41,7	0,35	6,53	0,34	8,7
Ангидрит	42–80	0,35–1,80	4,2–9,7	0,20–0,28	9,55–10,6
Доломит	80–136	1,7–2	9,7–13,3	0,14–4,00	9,55–10,00
Смешанный пласт	45,2	0,73	4,4	0,32	9,5
Уровень взрывных работ	40,1	1,83	5,61	0,28	9,2

### Постановка задачи

При оценке воздействия взрывных работ на породы ВЗТ решались следующие задачи:

– установление закономерности затухания импульса взрыва комплекта шпуровых зарядов взрывчатых веществ типа аммонит БЖВ длиной 3 м, общей массой 125 кг;

– определение главных параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива (напряжение, скорость смещения частиц во взрывной волне, амплитуда смещения частиц, импульс взрыва) и оценка степени опасности взрывного воздействия на состояние ВЗТ.

Для взрывов различного масштаба с весьма удовлетворительной точностью выполняется принцип геометрического подобия напряженно-деформированного состояния массива горных пород, и характер развития деформационных процессов для взрывов разной мощности одинаков на одинаковых относительных (безразмерных, приведенных) расстояниях  $r' - R' - R^*$ , выражаемых в следующих трех системах [1–9].

1. В радиусах заряда:

$$r' = \frac{r}{R_0}, \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние до исследуемой точки, м;  $R_0$  – радиус заряда, м.

2. В длине ребра куба:

$$R_k = \sqrt[3]{M}, \quad (2)$$

$$R' = \frac{r}{R_k}, \quad (3)$$

где  $R_k$  – увеличенное в 10 раз ребро фактического кубического заряда, вмещающего массу взрывчатого вещества ( $M$ , кг), м. При этом для соблюдения размерности в формулу (2) необходимо подставить плотность заряда (у большинства взрывчатых веществ плотность близка к 1, поэтому ее не вводят):

$$R_k = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = \text{м}. \quad (4)$$

Для получения истинной величины ребра фактического заряда необходимо либо массу взрывчатого вещества выражать в тоннах (тогда ребро – в метрах), либо величину ребра выражать в дециметрах (тогда масса вещества – в килограммах).

Приведенное расстояние  $R'$  (3) численно самое наименьшее из всех используемых во взрывном деле относительных расстояниях и самое удобное для употребления на практике.

Из равенства объемов шара и равновеликого куба можно вывести зависимость между относительными расстояниями  $R'$  и  $r'$ , получим

$$R' = 0,062r' \text{ или } r' = \frac{1}{0,062} = 16,13R'. \quad (5)$$

3. В длине ребра куба  $R_i$ , уменьшенного в 10 раз относительно истинного ребра объема кубического заряда в тротиловом эквиваленте:

$$R_i = \sqrt[3]{M_i}, \quad (6)$$

$$R^* = \frac{r}{R_i}. \quad (7)$$

Это приведенное расстояние  $R^*$  используется для мощных (ядерных) взрывов, когда масса заряда  $M_i$  выражается в килотоннах.

Между указанными системами относительных и приведенных расстояний существует взаимозависимость, которая определяется выражением

$$R^* = 100R' = 6,2r'. \quad (8)$$

Знание указанных соотношений позволяет легко сравнивать результаты теоретических и практических исследований для различных условий взрывания.

В соответствии с теорией геометрического подобия взрывов разной мощности и геометрии воздействие взрыва скважинных (шпуровых) зарядов на расстояниях более длины скважины (шпура) допустимо моделировать равноценным воздействием взрыва одиночного сосредоточенного заряда той же или эквивалентной массы взрывчатого вещества в зависимости от расстояния до охраняемого объекта.

В условиях Гремячинского горно-обогатительного комбината расчеты проводились для модельного одиночного сосредоточенного заряда аммонита БЖВ массой 125 кг.

### Методика оценки взрывного воздействия на породы водозащитной толщи

В данных исследованиях использовалось положение об определяющем влиянии на величину скорости смещения частиц массива во

взрывной волне (массовой скорости) взрывного импульса и физико-механических свойств породы. Величина и форма взрывного импульса определяют характер передачи энергии взрыва в окружающую среду и зависят от типа взрывчатого вещества [4, 6, 9–15]. Оценка степени опасности действия взрывных работ на сплошность основного слоя ВЗТ, состоящего из 3 пластов каменной соли общей мощностью порядка 50 м, производилась на основе расчета и анализа созданного взрывом напряженно-деформированного состояния массива горных пород, залегающих между уровнем производства взрывных работ и почвой водозащитной толщи.

Рассчитывались затухания основных характеристик (факторов) взрыва: давления во взрывной волне, распространяющейся в массиве вверх от очага взрыва в направлении ВЗТ, максимальной скорости и амплитуды смещения частиц массива. Для расчетов основных параметров разрушения использовались следующие зависимости [1–6, 16, 17]

$$P_1 = 0,125\rho D^3 k_i, \quad (9)$$

$$P(R') = P_1(1 + kR')^{-m}, \quad (10)$$

$$t(r) = [a + b(r-1)]R_c, \quad (11)$$

$$J(r) = P(r)t(r), \quad (12)$$

$$U = vt, \quad (13)$$

$$v_c(R') = 4R'^{-1.7} = 452r'^{-1.7} = 10^4 R'^{-1.7}, \quad (14)$$

$$V(r) = 61,7r^{-1.7}, \quad (15)$$

где  $P_1$  – среднее давление продуктов детонации в зарядной полости, Па;  $P(r), J(r)$  – давление и импульс давления в массиве на расстоянии  $r$  от зарядной полости, Па, Н·с;  $t(r)$  – длительность положительной фазы волны сжатия в массиве на расстоянии  $r$  от зарядной полости, с;  $\rho, D$  – плотность ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и скорость (м/с) детонации используемого взрывчатого вещества;  $k_i$  – коэффициент зазора между зарядом и стенками зарядной полости;  $a, b, m$  – эмпирические параметры затухания взрывного импульса для сосредоточенного заряда, равные соответственно 6;

0,2–3,5; 1 и 7;  $v_c$  – массовая скорость (скорость смещения частиц массива во взрывной волне сжатия) сосредоточенного заряда, м/с;  $U$  – амплитуда смещения частиц массива, мм;  $V$  – скорость смещения в зависимости от расстояния, м, для заряда аммонита 6ЖВ массой 125 кг, м/с.

Первое выражение формулы (14) для определения скорости смещения частиц массива в зависимости от приведенного расстояния  $R'$  во взрывной волне сосредоточенного заряда (цилиндр диаметром 0,25 м и длиной 0,45 м) аммонита 6ЖВ массой 24 кг (120 патронов) получено эмпирически для смешанных пород Верхнекамского месторождения калийных солей [16, 17]. Для данного заряда эквивалентный радиус  $R_0 = 0,18$  м.

Для модельного шарового заряда массой 125 кг  $R_0 = 0,062\sqrt[3]{125} = 0,31$  м, а единица приведенного расстояния (ребро куба)  $R_c = \sqrt[3]{125} = 5$  м.

Второе и третье выражения формулы (14) выведены аналитически из вышеприведенных соотношений (3) и (6) между различными видами относительных и приведенных расстояний при плотности заряжания  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Выражение (15) представляет собой формулу для расчета скорости смещения  $V$  в зависимости от абсолютного расстояния, м, для сосредоточенного заряда аммонита 6ЖВ массой 125 кг. Графическое изображение затухания скорости с расстоянием приведено на рисунке.

Для третьего выражения формулы (14) при степени затухания  $-1,69$  для малотрещиноватых пород средней крепости средний коэффициент скорости несколько больше и равен  $1,35 \cdot 10^4$  [5].

### Результаты оценки взрывного воздействия на породы водозащитной толщи

Напряжение во взрывной волне сжатия на нижней границе ВЗТ на расстоянии порядка 30 м при массе заряда 125 кг ( $R' = 6$ ) от очага взрыва взрывчатого вещества типа 6ЖВ ( $P_1 = 430$  МПа) в соответствии с формулой (10) в данных породах не превосходит 2,5 МПа. Минимальный предел прочности на одноосное сжатие каменной соли ВЗТ, состоящей из 3 пластов общей мощностью 50,7 м по данным геолого-разведочной скважины № 22 и 49,0 м по данным скважины № 23,

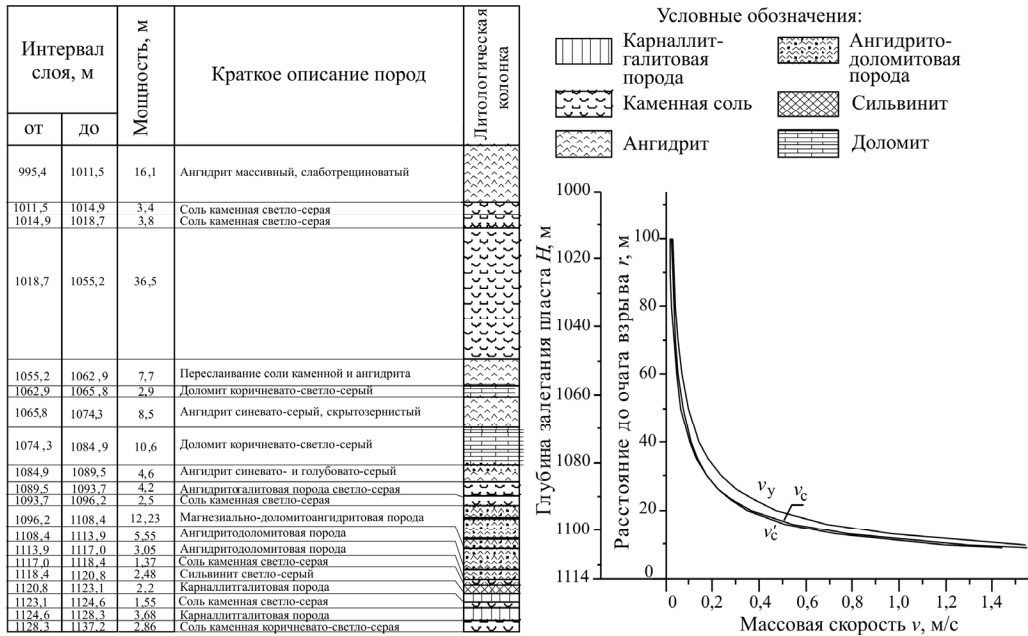


Рис. Зависимость массовой скорости от расстояния до очага взрыва при использовании аммонита БЖВ массой заряда 125 кг:  $v_c$ ,  $v_c$  – массовые скорости сосредоточенного заряда;  $v_y$  – массовая скорость удлиненного заряда

составляет 22,9 МПа в среднем пласте и 23,84 МПа в нижнем пласте. Средняя прочность пластов каменной соли на сжатие равна 25,4 МПа, что в 10 раз больше напряжения во взрывной волне. Таким образом, разрушение каменной соли в породах ВЗТ сжатием при ведении взрывных работ в околоствольном дворе Гремячинского горно-обогатительного комбината маловероятно.

Прочность на разрыв по пластам каменной соли равна соответственно 0,72; 0,29 и 0,3 МПа по данным скважины № 22 и 0,53; 0,32; 0,27 МПа по данным скважины № 23. Разрушение породы растяжением реализуется при отражении волны сжатия от пласта с более низкой акустической жесткостью. Максимальные растягивающие напряжения создаются при отражении от открытой поверхности (акустическая жесткость воздуха на 3 порядка меньше, чем горной породы). Однако акустическая жесткость каменной соли и нижележащего пласта (переслаивание ангидрита с каменной солью) практически одинакова (8,65 и 8,7 МНс/м<sup>2</sup>), и на их границе отражение минимально.

Радиус опасной зоны  $R_b$  сосредоточенного заряда по сейсмическому воздействию на охра-

няемые объекты определяется массой взрывчатого вещества ( $Q$ ), свойствами горной породы (коэффициент  $K_1$ ), видом и состоянием охраняемых объектов ( $K_2$ ) и условиями взрывания ( $K_3$ ) в соответствии с [18] из выражения

$$R_b = K_1 K_2 K_3 \sqrt[3]{Q}. \quad (16)$$

Для условий взрывания при проходке выработок в околоствольном дворе рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината значения указанных коэффициентов составляют:  $K_1 = 8$ ,  $K_2$ ,  $K_3 = 1$ .

Для установления воздействия взрывных работ на сплошность ВЗТ главный интерес представляет оценка напряженно-деформированного состояния массива на ее нижней границе при расстояниях порядка 50 м от очага взрыва.

Для создания расчетной схемы комплект шпуровых зарядов, взрывааемых короткозамедленно, в первом варианте можно смоделировать сосредоточенным зарядом, взрываемом мгновенно. В этом более неблагоприятном случае по сравнению с реальным взрыванием радиус опасной зоны по сейсмическому воздействию  $R_b$  в соответствии с формулой (16) для заряда аммонита БЖВ 125 кг будет равен 40 м.

При короткозамедленном взрывании этой массы взрывчатого вещества в 4-й серии с замедлением между сериями более 20 мс и разбросом расстояний между крайними зарядами  $< 0,2R_b$ , в соответствии с формулой (17) радиус опасной зоны  $R'_b$ , м, уменьшается в 1,4 раза относительно  $R_b$  и становится равным 28 м.

$$R'_b = \frac{R_b}{\sqrt[3]{N}}, \quad (17)$$

где  $N$  – число серий замедлений.

На приведенном расстоянии от очага взрыва более  $300R^*$  (или  $48r'$ , или  $3R'$ ) начинается квазиупругая зона, в которой отсутствуют значимые изменения механических характеристик массива [5]. Однако иногда наблюдаются необратимые изменения вплоть до  $1000R^*$ , или  $161r'$ , или  $10R'$ .

Расстояние в 28 м для сосредоточенного заряда аммонита бЖВ массой 125 кг с радиусом заряда, равным 0,31 м, может быть выражено безразмерными числами  $r' = 90$  (относительное расстояние),  $R' = 5,6$  или  $R^* = 560$  (приведенные расстояния). Это расстояние превышает начальный радиус квазиупругой зоны почти в 2 раза и практически безопасно для малотрещиноватых пород.

Значения давления  $P$ , массовой скорости  $v$  и усредненной амплитуды смещения  $U$  частиц породы в волне сжатия в зависимости от расстояния  $r$  для сосредоточенного заряда взрывчатого вещества приведены в табл. 2.

На рисунке приведен график зависимости скорости смещения частиц массива (массовой скорости) во взрывной волне сжатия от действия взрыва сосредоточенного заряда аммонита бЖВ массой 125 кг.

Как видно из рисунка, на уровне подошвы ВЗТ массовая скорость в массиве для сосредоточенного ( $v_c$ ) и удлиненного ( $v_y$ ) заряда взрывчатого вещества не превосходит 0,10 м/с.

Т а б л и ц а 2

Значение параметров НДС массива в зависимости от расстояния от центра взрыва

Параметр	Значения			
	10	15	30	60
Расстояние до центра взрыва $r$ , м	10	15	30	60
Относительное расстояние $R'$	2	3	6	12
Давление в массиве $P$ , МПа	33	6,8	2,2	0,7
Массовая скорость $v_c$ , см/с	400	62	19	6
Усредненная амплитуда смещения частиц $U$ , мм	2,3	1,65	0,6	0,15

Это значение значительно меньше величины критической массовой скорости, которая составляет более 1,0 м/с. Известно, что при величине массовой скорости более 1,0 м/с начинается разрушение породы [13].

### Заключение

На основании геомеханических расчетов определены зависимости затухания с расстоянием основных характеристик напряженно-деформированного состояния пород водозащитной толщи при ведении взрывных работ в ангидритодоломитовых породах и магнезиально-доломитоангидритовых породах. Расчеты основных параметров, таких как давление, массовая скорость и амплитуда смещения частиц, проводились во взрывных волнах, создаваемых продуктами детонации модельных одиночных зарядов сосредоточенного и скважинного типа, состоящих из аммонита бЖВ массой 125 кг и взрываемых мгновенно и короткозамедленно. Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Установлено, что при нормальном геологическом строении пород водозащитной толщи и при отсутствии в ней зон аномального строения в подошве верхней соляной пачки водозащитной толщи значения основных параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород при воздействии взрывных волн значительно меньше – более чем на порядок критических значений, которые приводят собственно к разрушению и растрескиванию соляных пород. Следовательно, ведение взрывных работ при проходке выработок околоствольного двора в ангидритодоломитовых породах не представляет угрозы сплошности водозащитной толщи при ее нормальном строении и массе зарядов взрывчатого вещества не более 125 кг.

2. Для снижения сейсмического воздействия взрывных работ на породы водозащитной толщи при взрывании комплектов шпуров целесообразно применять короткозамедленное взрывание. При этом рекомендуется не менее четырех ступеней замедления. При короткозамедленном взрывании комплекта шпуров радиус опасной зоны подземного взрыва по сравнению с мгновенным взрыванием уменьшается в 1,4 раза, а все параметры напряженно-деформированного состояния в породах водозащитной толщи при воздействии взрывной волны уменьшаются в 1,5 раза.

3. При наличии в породах водозащитной толщи тектонически ослабленных зон, установленных сейсморазведочными работами, ведение буровзрывных работ в таких зонах до уточнения их геологического строения прямыми методами (бурением геолого-разведочных скважин из подземных горных выработок и изучением физико-механических свойств горных пород) не рекомендуется. В этом случае возможны 2 варианта проходки выработок буровзрывным способом в ангид-

ритодолмитовых породах: в первом случае выработки буровзрывным способом проходят, минуя тектонически ослабленную зону; во втором случае при подходе выработок к тектонически ослабленной зоне проводится уточнение ее геологического строения, определяются физико-механические свойства горных пород прямыми методами с помощью скважин подземного бурения, и только затем принимается решение о возможности ведения взрывных работ в ее пределах.

#### Список литературы

1. Садовский М.А., Костиюченко В.Н. О затухании сейсмических волн взрыва в массиве горных пород // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 301, № 6. – С. 245–247.
2. Механический эффект подземного взрыва / В.Н. Родионов [и др.]. – М.: Недра, 1971. – 224 с.
3. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. – М.: Недра, 1986. – 301 с.
4. Баум Ф.А., Григорян С.С., Санасарян Н.С. Определение импульса взрыва вдоль образующей скважины и оптимальных параметров скважинного заряда // Взрывное дело. – 1964. – № 54/11. – С. 53–102.
5. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М.: Академкнига, 2003. – 423 с.
6. Адускин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных подземных взрывов. – М.: Недра, 1993. – 316 с.
7. Bandis S.C., Lumsden A.C., Barton N.R. Fundamentals of rock joint deformation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1983. – Vol. 20, № 6. – P. 248–268. DOI: 10.1016/0148-9062(83)90595-8.
8. Barton N., Bandis S., Bakhtar K. Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1985. – Vol. 22, № 3. – P. 121–140. DOI: 10.1016/0148-9062(85)93227-9.
9. Bungum H., Mykkeltveit S., Kvaerna T. Seismic noise in Fennoscandia with emphasis on high frequencies // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1985. – Vol. 75, № 6. – P. 1489–1513.
10. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 200 с.
11. Fracture interface waves / B. Gu, K.T. Nihei, L.R. Myer, L.J. Pyrak-Nolte // Journal of Geophysical Research. – 1996. – Vol. 191, № 1. – P. 827–835. DOI: 10.1029/95JB02846.
12. Pyrak-Nolte L.J., Myer L.R., Cook N.G.V. Transmission of seismic waves across single natural fractures // Journal of Geophysical Research. – 1990. – Vol. 95, № B6. – P. 8617–8638. DOI: 10.1029/JB095iB06p08617.
13. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород взрывом. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 12–20.
14. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: генезис, прогноз и управления. – Минск: Высшая школа, 2000. – 335 с.
15. Башура А.Н., Щерба В.Я., Андрейко С.С. Управление газодинамическими процессами при подземной разработке Старобинского месторождения калийных солей. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 196 с.
16. Мальцев В.М. Расчет радиуса зоны трещинообразования одиночного удлиненного заряда ВВ // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. / под ред. А.А. Баряха. – Пермь: Изд-во Горного института УрО РАН, 2010. – С. 220–223.
17. Мальцев В.М., Шабловский В.П. Экспериментальные исследования трещинообразования в соляных породах при взрыве одиночного шпурового заряда ВВ на две обнаженные поверхности // Разработка соляных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 1983. – С. 95–98.
18. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». – М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2015. – Сер. 13, вып. 14. – 332 с.

#### References

1. Sadovskii M.A., Kostiuuchenko V.N. O zatukhanii seismicheskikh voln vzryva v massive gornyykh porod [Attenuation of explosion seismic waves in rock massif]. *Doklady AN SSSR*, 1988, vol. 301, no. 6, pp. 245–247.
2. Rodionov V.N. et al. Mekhanicheskii effekt podzemnogo vzryva [Mechanical effect of underground explosion]. Moscow: Nedra, 1971. 224 p.
3. Rodionov V.N., Sizov I.A., Tsvetkov V.M. Osnovy geomekhaniki [Basics in geomechanics]. Moscow: Nedra, 1986. 301 p.
4. Baum F.A., Grigorian S.S., Sanasarian N.S. Opredelenie impul'sa vzryva vdol' obrazuiushchei skvazhiny i optimal'nykh parametrov skvazhinnoho zariada [Determination of explosion impulse along generating well and optimal parameters of well blast]. *Vzryvnoe delo*, 1964, no. 54/11, pp. 53–102.
5. Kocharian G.G., Spivak A.A. Dinamika deformirovaniia blochnykh massivov gornyykh porod [Dynamics of deformation of the block rock masses]. Moscow: Akademkniga, 2003. 423 p.
6. Adushkin V.V., Spivak A.A. Geomechanika krupnomasshtabnykh podzemnykh vzryvov [Geomechanics of big scale underground explosions]. Moscow: Nedra, 1993. 316 p.
7. Bandis S.C., Lumsden A.C., Barton N.R. Fundamentals of rock joint deformation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1983, vol. 20, no. 6, pp. 248–268. DOI: 10.1016/0148-9062(83)90595-8.
8. Barton N., Bandis S., Bakhtar K. Strength, deformation and conductivity coupling of rock joints. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1985, vol. 22, no. 3, pp. 121–140. DOI: 10.1016/0148-9062(85)93227-9.
9. Bungum H., Mykkeltveit S., Kvaerna T. Seismic noise in Fennoscandia with emphasis on high frequencies. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1985, vol. 75, no. 6, pp. 1489–1513.
10. Khanukaev A.N. Energiia voln napriazhenii pri razrushenii porod vzryvom [Energy of stress waves during rock destruction by explosion]. Moscow: Gosgortekhzdat, 1962. 200 p.
11. Gu B., Nihei K.T., Myer L.R., Pyrak-Nolte L.J. Fracture interface waves. *Journal of Geophysical Research*, 1996, vol. 191, no. 1, pp. 827–835. DOI: 10.1029/95JB02846.
12. Pyrak-Nolte L.J., Myer L.R., Cook N.G.V. Transmission of seismic waves across single natural fractures. *Journal of Geophysical Research*, 1990, vol. 95, no. B6, pp. 8617–8638. DOI: 10.1029/JB095iB06p08617.
13. Vlasov O.E., Smirnov S.A. Osnovy rascheta drobleniia gornyykh porod vzryvom [Fundamentals of calculation of rock crushing by explosion]. Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR, 1962. Pp. 12–20.

14. Andreiko S.S., Kalugin P.A., Shcherba V.Ia. Gazodinamicheskie iavleniia v kaliinykh rudnikakh: genezis, prognoz i upravleniia [Gas dynamic phenomena in the potash mines: genesis, forecast and management]. Minsk: Vysshiaia shkola, 2000. 335 p.

15. Bashura A.N., Shcherba V.Ia., Andreiko S.S. Upravlenie gazodinamicheskimi protsessami pri podzemnoi razrabotke Starobinskogo mestorozhdeniia kaliinykh soli [Management of gas dynamic processes in the underground development of Starobin potassium salt field]. Moscow: Izdatel'stvo MGGU, 2004. 196 p.

16. Mal'tsev V.M. Raschet radiusa zony treshchinoobrazovaniia odinochnogo udlinennogo zariada vzryvchatykh veshchestv [Calculation of the radius of the fracturing zone of single elongated explosive blast]. *Strategiia i protsessy osvoeniia georesurov: sbornik nauchnykh trudov*. Ed. A.A. Bariakha. Perm': Izdatel'stvo Gornogo instituta UrO RAN, 2010, pp. 220-223.

17. Mal'tsev V.M., Shablovskii V.P. Eksperimental'nye issledovaniia treshchinoobrazovaniia v solianyykh porodakh pri vzryve odinochnogo shpurovogo zariada vzryvchatykh veshchestv na dve obnazhennye poverkhnosti [Experimental study of fracturing in salt rocks during explosion of single hole blast explosives on two exposed surfaces]. *Razrabotka solianyykh mestorozhdenii: mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov*. Perm', 1983. Pp. 95-98.

18. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vzryvnykh rabotakh» [Federal rules and regulations in the field of industrial safety «Blasting safety rules»]. Moscow: Nauchno-tehnicheskii tsentr issledovaniia problem promyshlennoi bezopasnosti, 2015, seriia 13, vol. 14, 332 p.

#### Об авторах

**Андрейко Сергей Семенович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78-а; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**Мальцев Валентин Михайлович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории геотехнологических процессов и рудничной газодинамики Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78-а; e-mail: rmpi@pstu.ru).

**Аникин Владимир Васильевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, Сибирская 78-а; e-mail: anikin@mi-perm.ru).

#### About the authors

**Sergei S. Andreiko** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Engineering, Professor, Head of Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, 78 A Sibirskaiia st.; e-mail: ssa@mi-perm.ru).

**Valentin M. Maltsev** (Perm, Russian Federation) – PhD in Engineering, researcher at Laboratory of Geotechnological Processes and Mine Gas Dynamics of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, 78 A Sibirskaiia st.; e-mail: rmpi@mi-perm.ru).

**Vladimir V. Anikin** (Perm, Russian Federation) – PhD in Engineering, researcher at Laboratory of Physical Processes of Georesources Development of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, 78 A Sibirskaiia st.; e-mail: anikin@mi-perm.ru).

Получено 24.09.2015

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Андрейко С.С., Мальцев В.М., Аникин В.В. Оценка воздействия взрывных работ на породы водозащитной толщии в районе околотвольного двора рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 17. – С. 81–88. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.9

Please cite this article in English as:

Andreiko S.S., Maltsev V.M., Anikin V.V. Evaluation of explosion influence on the waterproof rocks in shaft bottom area of gremiachinsk mining and processing plant. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 17, pp. 81-88. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.9