

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕХНОГЕННЫХ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ И СУБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ

Доможиров Д.В., Пыталев И.А., Ильтинин Ю.К., Сизиков А.А., Самойлов С.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Ключевые слова: охраняемые объекты, безопасные расстояния, кубичное приведенное расстояние, квадратичное приведенное расстояние, разлет осколков взрыва, ударное воздушно-волновое воздействие, сейсмика.

Аннотация. В настоящее время оценку безопасности буровзрывной подготовки к выемке горных пород на открытых горных работах в стесненных условиях можно выполнить путем решения трех типовых задач: расчет безопасных расстояний; расчет допустимой массы заряда взрывчатого вещества и расчет прогнозных значений, генерируемых взрывом величин поражающих параметров охраняемого объекта. Согласно Федеральных норм и правил «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» безопасность взрывных работ оценивается по различным поражающим факторам (разлет осколков взрыва, ударное воздушно-волновое воздействие и сейсмика) путем сравнением фактических расстояний (от места взрыва до охраняемого объекта) с расчетными и безопасными. Представлена классификация факторов опасности для охраняемых техногенных, технологических и инфраструктурных объектов и субъектов в зависимости от методов и способов ведения взрывных работ при открытой геотехнологии. Представлена зависимость радиуса разлета кусков для людей от линии наименьшего сопротивления и показателя действия взрыва. Представлены систематизации: зон механического поражения инженерных сооружений от разлета отдельных кусков породы и степени воздействия (повреждений) от избыточных давлений ударной воздушной волны на людей и инженерные сооружения от взрывных работ на карьерах.

SYSTEMATIZATION OF PROTECTED MAN-MADE, TECHNOLOGICAL AND INFRASTRUCTURAL OBJECTS AND ENTITIES TAKING INTO ACCOUNT SAFETY FACTORS FOR DRILLING AND BLASTING OPERATIONS IN A QUARRY

Domozhirev D.V., Pytalev I.A., Iltinin Yu.K., Sizikov A.A., Samoilov S.V.

Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk

Keywords: protected objects, safe distances, cubic reduced distance, quadratic reduced distance, dispersion of blast fragments, air shock wave impact, seismicity.

Abstract. Currently, the safety assessment of drilling and blasting operations for rock excavation in open-pit mining operations in confined spaces can be accomplished by solving three typical problems: calculating safe distances; calculating the permissible explosive charge mass; and calculating predicted values of the blast-generated damaging parameters of the protected object. According to the Federal Norms and Rules «Safety Rules for the Production, Storage, and Use of Industrial Explosives» the safety of blasting operations is assessed based on various damaging factors (dispersion of explosion fragments, air-wave impact, and seismicity) by comparing actual distances (from the explosion site to the protected object) with calculated and safe ones. A classification of hazard factors for protected man-made, technological and infrastructure facilities and entities is presented depending on the methods and techniques of blasting operations in open geotechnology. The dependence of the radius of fragmentation for people on the line of least resistance and the explosion action index is presented. The systematizations are presented: zones of mechanical damage to engineering structures from the scattering of individual pieces of rock and the degree of impact (damage) from excess pressure of a shock wave on people and engineering structures from blasting operations in quarries.

Введение

В Федеральных нормах и правилах (ФНиП) в области промышленной безопасности («Правила безопасности при взрывных работах» от 01.04.2014г. №31796; «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения» от 25.12.2020 №61824) безопасность взрывных работ

оценивается по различным поражающим факторам путем сравнением фактических расстояний (от места взрыва до охраняемого объекта) с расчетными и безопасными.

Охраняемыми объектами на открытых горных работах являются инженерные сооружения, которые по функциональному назначению классифицируются на [1-4]:

- промышленные инженерные сооружения (заводы, фабрики, предприятия горнодобывающего и топливно-энергетического комплексов);
- гражданские (общественные) сооружения (жилые дома, здания культурно-бытового назначения, административные здания);
- сельскохозяйственные здания и сооружения (элеваторы, животноводческие и птицеводческие комплексы, сооружения для ремонта и хранения техники и переработки сельскохозяйственной продукции);
- гидротехнические сооружения (плотины, дамбы, хвостохранилища, каналы, трубопроводы, водозаборы, насосные станции, порты);
- транспортные сооружения (железные и автомобильные дороги, мосты, судоходные каналы, линии электропередач, аэропорты).

При этом оценку безопасности взрывных работ можно получить путем решения трех типов задач, определяющих:

а) безопасные расстояния $[R]$ с учетом наиболее неблагоприятных условий ведения буровзрывных работ и сравнение фактических расстояний с расчетными (безопасными);

б) допустимую массу $[Q]$ заряда ВВ (общую или замедляемую группу одновременно взрываемых зарядов и одиночных зарядов с интервалами замедления более 20 мс) и сравнение ее с проектной;

в) прогнозные значения генерируемых взрывом величин поражающих параметров объекта (давление на фронте ударной волны, скорость, ускорение и амплитуда смещения), и сравнение их с предельными или допустимыми для объекта уровнями.

Все эти задачи решаются при использовании двухпараметрических аргументов энергетического подобия явлений при взрывах [5-8]:

– приведенное расстояние:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}}, \text{ м/кг}^{1/3}, \quad (1)$$

где R – расстояние от места взрыва до охраняемого объекта, м; Q – общая или замедляемая группа одновременно взрываемых зарядов ВВ и одиночных зарядов ВВ с интервалами замедления более 20 мс, кг;

– квадратичное приведенное расстояние:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[2]{Q}}, \text{ м/кг}^{1/2}. \quad (2)$$

Данные параметры, характеризуют уровни поражения охраняемых объектов, которые выражаются функциями этих аргументов.

Классификация и систематизация факторов опасности

В расчётных зависимостях безопасных расстояний, представленных в ФНиП коэффициенты пропорциональности это численные значения аргументов, обеспечивающие безопасный уровень параметров поражающих факторов, которые оцениваются:

- скоростью вылета осколков (безопасность по разлету отдельных кусков породы);
- скоростью колебания грунта (безопасность по сейсмическому фактору);
- давления и импульса воздушных волн (безопасность по действию ударной воздушной волны);
- концентрации ядовитых газов (безопасность по газовому фактору).

Величины этих аргументов в той или иной степени связаны с параметрами буровзрывных работ. При выполнении буровзрывной подготовке к выемке горных пород на открытых горных работах в стесненных условиях и с учетом ограничивающих факторов выделяют следующие виды опасных воздействий.

Р – разлёт осколков породы (РОВ – разлет осколков взрыва). Удельная энергия осколков, поглощённая объектом, попавшим в опасную зону, является поражающим действием. Данная энергия пропорциональна массе и скорости осколков, определяющая дальность их полёта и зависящая от конструктивных (условия заглубления относительно имеющихся свободных поверхностей зарядов ВВ) и геометрических (взаимодействие соседних зарядов) параметров БВР. Для людей опасны осколки любой массы, а для инженерных сооружений опасными являются лишь осколки с массой, превосходящей некоторый предел при определённой плотности выпадения их на площадях участков поражения.

С – сейсмическое. Сейсмическое воздействие от взрывных работ на людей (персонал) физически не ощутимо на практике, а также не проявляется даже в виде психологической нагрузки, поэтому не отражены в расчетах безопасных расстояний ФНиП. Сейсмическое или сотрясательное действие взрыва оказывает опасное воздействие для наземных и подземных инженерных сооружений, где основным критерием сейсмической опасности является величина скорости смещения в основании охраняемого объекта, моделируемая приведённым расстоянием $R = r/Q^{1/3}$.

У – ударное воздушноволновое (УВВ). Ударное воздушноволновое воздействие оценивается критериями: максимальным избыточным давлением на фронте волны сжатия и импульсом взрыва. УВВ действие представляет опасность как для жизни людей (органы слуха и физическое состояние), так и целостности инженерных сооружений. Минимальным порогом чувствительности к действию УВВ для людей и инженерных сооружений являются барабанные перепонки и остекление соответственно. Аргументы энергетического подобия R (r) также используются в качестве параметров УВВ безопасности.

Г – газы ядовитые. Газоопасность взрыва должна быть учтена для людей при взрывании зарядов выброса общей массой более 200 т. Безопасное расстояние устанавливается с учетом содержания ядовитых газов (в пересчете на условную окись углерода) не превышающих предельно допустимые концентрации.

Таким образом, среди охраняемых объектов и субъектов, реагирующих на последствия взрывного воздействия в виде поражающих факторов, характерны следующие два типа:

- Л – люди;
- И – инженерные сооружения.

На рисунке 1 представлена разработанная классификация факторов опасности для охраняемых технологических и инфраструктурных объектов и субъектов в зависимости от методов и способов ведения взрывных работ при открытой геотехнологии.

Согласно факторам опасности и применяемых методов ведения БВР на карьерах с учетом принятых классификационных признаков систематизированы условия взрывания по:

- способу взрывания:
 - удлиненный скважинный или шпуровой (углубленный) (у);
 - сосредоточенный заряд (с);
- системности:
 - единичный или однократный (е);
 - групповой (г);
- условию заглубления:
 - открытый (о);
 - углублённые (п);
- режиму взрывания:
 - мгновенный (м);
 - короткозамедленный (КЗВ) (к);
- глубине заложения (нагрузка на заряд):
 - уменьшенного выброса, $n < 1$ (а);
 - нормального выброса, $n = 1$ (б);
 - усиленного выброса, $n > 1$ (в).

Факторы опасности взрыва	Охраняемые объекты (субъекты)	Способ взрывания зарядов ВВ															
		Удлиненный скважинный (шпуровой) (у), (углубленный)						Сосредоточенный заряд									
								(с)									
		Единичный или однократный (е)				Групповой (г)				Единичный или однократный (е)			Групповой (г)				
										Открытый		Углубленный		Открытый		Углубленный	
		(о)		(п)		(о)		(п)									
		Мгновенный		КЗВ		Мгновенный		КЗВ		Мгновенный		КЗВ		Мгновенный		КЗВ	
		(м)		(к)		(м)		(к)		(м)		(к)		(м)		(к)	
Заряд рыхления						Заряд рыхления						Заряд рыхления					
(а)		(б)		(в)		(а)		(б)		(в)		(а)		(б)		(в)	
Уменьшенно го выброса n<1		Нормального выброса n=1		Усиленного выброса n>1		Уменьшенно го выброса n<1		Нормального выброса n=1		Усиленного выброса n>1		Уменьшенно го выброса n<1		Нормального выброса n=1		Усиленного выброса n>1	
Дробление негабарита						Дробление негабарита						Дробление негабарита					
Разлет отдельных кусков пород (Р)	Люди (Л) Инженерные сооружения (И)	РЛуема	РЛуемб	РЛуемв	РЛутма	РЛутмб	РЛутмв	РЛсеом	РЛсема	РЛсемб	РЛсемв	РЛсгом	РЛсгок	РЛстгма	РЛстгмб	РЛстгмв	
		РЛуека	РЛуекб	РЛуекв	РЛутка	РЛуткб	РЛуткв	РЛсеом	РЛсека	РЛсекб	РЛсекв	РЛсгом	РЛсгок	РЛстгка	РЛстгкб	РЛстгкв	
		РИуема	РИуемб	РИуемв	РИутма	РИутмб	РИутмв	РИсеом	РИсема	РИсемб	РИсемв	РИсгом	РИсгок	РИстгма	РИстгмб	РИстгмв	
		РИуека	РИуекб	РИуекв	РИутка	РИуткб	РИуткв	РИсеом	РИсека	РИсекб	РИсекв	РИсгом	РИсгок	РИстгка	РИстгкб	РИстгкв	
Сейсмика (С)	Инженерные сооружения (И)	СИуема	СИуемб	СИуемв	СИутма	СИутмб	СИутмв	СИсеом	СИсема	СИсемб	СИсемв	СИсгом	СИсгок	СИстгма	СИстгмб	СИстгмв	
		СИуека	СИуекб	СИуекв	СИутка	СИуткб	СИуткв	СИсеом	СИсека	СИсекб	СИсекв	СИсгом	СИсгок	СИстгка	СИстгкб	СИстгкв	
Ударная воздушная волна (У)	Люди (Л) Инженерные сооружения (И)	УЛуема	УЛуемб	УЛуемв	УЛутма	УЛутмб	УЛутмв	УЛсеом	УЛсема	УЛсемб	УЛсемв	УЛсгом	УЛсгок	УЛстгма	УЛстгмб	УЛстгмв	
		УЛуека	УЛуекб	УЛуекв	УЛутка	УЛуткб	УЛуткв	УЛсеом	УЛсека	УЛсекб	УЛсекв	УЛсгом	УЛсгок	УЛстгка	УЛстгкб	УЛстгкв	
		УИуема	УИуемб	УИуемв	УИутма	УИутмб	УИутмв	УИсеом	УИсема	УИсемб	УИсемв	УИсгом	УИсгок	УИстгма	УИстгмб	УИстгмв	
		УИуека	УИуекб	УИуекв	УИутка	УИуткб	УИуткв	УИсеом	УИсека	УИсекб	УИсекв	УИсгом	УИсгок	УИстгка	УИстгкб	УИстгкв	
Ядовитые газы (Г)	Люди (Л)	ГЛуема	ГЛуемб	ГЛуемв	ГЛутма	ГЛутмб	ГЛутмв	ГЛсеом	ГЛсема	ГЛсемб	ГЛсемв	ГЛсгом	ГЛсгок	ГЛстгма	ГЛстгмб	ГЛстгмв	
		ГЛуека	ГЛуекб	ГЛуекв	ГЛутка	ГЛуткб	ГЛуткв	ГЛсеом	ГЛсека	ГЛсекб	ГЛсекв	ГЛсгом	ГЛсгок	ГЛстгка	ГЛстгкб	ГЛстгкв	

Примечание:

- методы и способы ведения взрывных работ, учитывающие в зависимостях «ФНиП» при расчете безопасных расстояний
 - методы и способы ведения взрывных работ, не отраженные в зависимостях «ФНиП» при расчете безопасных расстояний

Рис. 1. Классификация факторов опасности для охраняемых техногенных, технологических и инфраструктурных объектов и субъектов в зависимости от методов и способов ведения взрывных работ при открытой геотехнологии

В представленной классификации заглавные буквенные аббревиатуры это соответствующие факторы опасности и типы охраняемых объектов:

- разлет отдельных кусков породы (Р);
- сейсмика (С);
- ударная воздушная волна (У);
- ядовитые газы (Г);
- люди (Л);
- инженерные сооружения (И).

А строчные буквенные аббревиатуры (у, с, е, г, о, п, а, б, в) это индексы способа взрывания, системности, условия заглубления, режимов взрывания и глубины заложения зарядов ВВ.

Сочетание заглавных и строчных буквенных аббревиатур обеспечивает компактность записи всех типов задач при выборе расчётных зависимостей из ФНиП для оценки условий безопасности (или опасности) взрывов.

В классификации серым цветом отмечены элементы, отражающие условия взрывания заряда ВВ, которые не учтены в действующих ФНиП.

В частности, отсутствуют оценки опасных по разлёту осколков зон для инженерных сооружений (горнотранспортное оборудование). Учёт этого случая представляется важным для исключения излишних перегонов дорогого тяжёлого оборудования. Также нет и оценок размеров газоопасных зон при взрывах заглублённых зарядов, когда выделение газов в атмосферу меньше, чем при открытых (контактных) взрывах.

Разлет осколков взрыва зависит от показателя действия взрыва, который для углубленных зарядов характеризуется параметрами воронки взрыва и зависит от глубины заложения (нагрузки на заряд), где сопротивление взрыва прямо пропорционально объему разрушенной горной массы в пределах данной конусообразной воронки взрыва (рис. 2).

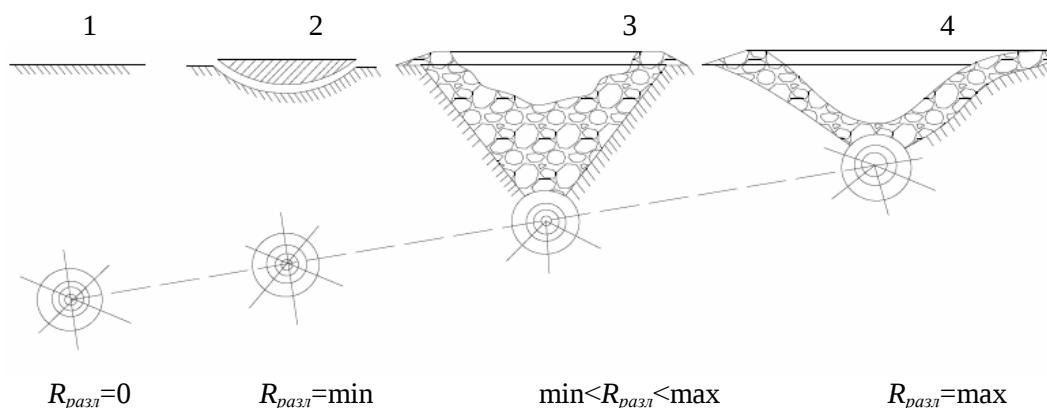


Рис. 2. Разрушение массива углубленными зарядами ВВ: 1 – заряд камуфлета; 2 – откольный заряд; 3 – заряд рыхления (дробления); 4 – заряд выброса

Воронка взрыва характеризуется показателем действия взрыва n , который был установлен в 1729 г. Францем Белидором для уменьшенного, нормального и усиленного выброса заряда ВВ (рис. 3):

$$n = \frac{r}{W}, \text{ м/кг}^{1/3}, \quad (3)$$

где r – радиус воронки взрыва, м; W – линия наименьшего сопротивления (ЛНС), м.

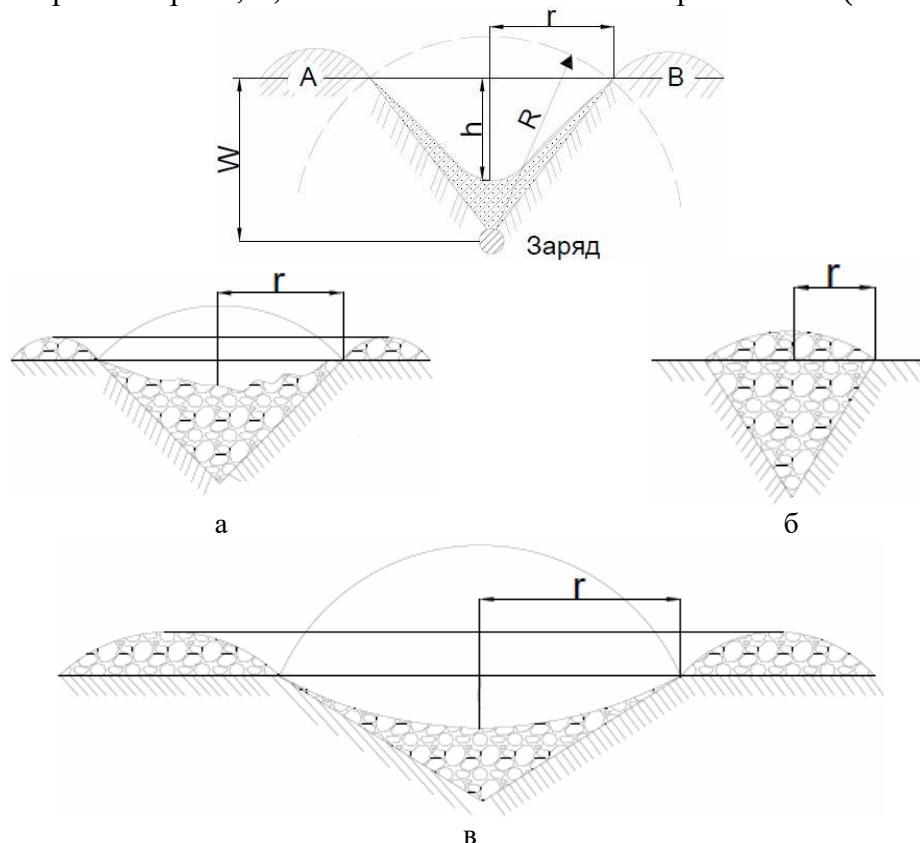


Рис. 3. Элементы, параметры воронки взрыва (r – радиус воронки взрыва; W – ЛНС; h – глубина воронки взрыва; R – радиус действия взрыва) и виды воронок взрыва заряда ВВ в зависимости от глубины заложения (W): а – нормального выброса ($r=W$; $n=1$); б – уменьшенного выброса ($r<W$; $n<1$); в – усиленного выброса ($r>W$; $n>1$)

Согласно данной классификации (рис. 1) и расчетных зависимостей ФНиП определены безопасные расстояния по разлету кусков породы для людей от показателя действия взрыва, представленные в виде функциональных зависимостей радиуса разлета кусков для людей от нагрузки на заряд (W) и показателя действия взрыва (n) (рис. 4).

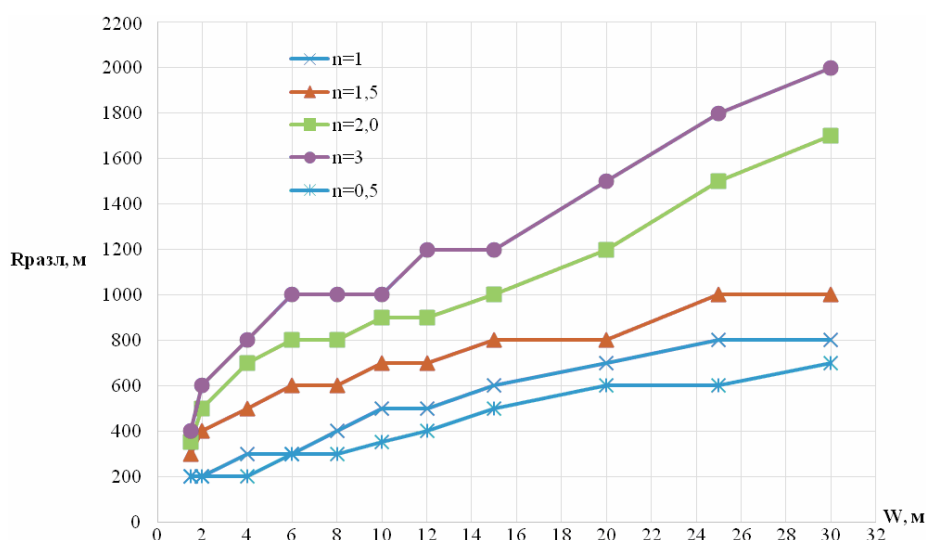


Рис. 4. Зависимости радиуса разлета кусков для людей от нагрузки на углубленный заряд (W , ЛНС) и показателя действия взрыва (n)

Инженерные сооружения, находящиеся от места взрыва на расстояниях меньше безопасного по разлету кусков породы $R_i^M < R_p^M$, подвергаются различной степени повреждениям или разрушениям при механическом ударном воздействии кусков взорванной породы на конструктивные и несущие элементы охраняемого объекта. Относительные размеры зон механического поражения оборудования R_i^M , зданий и сооружений от разлета отдельных кусков породы при взрыве зарядов ВВ для оценки возможного уровня их повреждения или разрушения приведены в таблице 1.

На рисунке 5 представлена схема расположения зон поражения охраняемых объектов (инженерные сооружения) от места взрыва зарядов ВВ при разлете кусков горной породы [9].

Табл. 1. Систематизация зон механического поражения инженерных сооружений от разлета отдельных кусков породы при взрыве зарядов ВВ для оценки возможного уровня их повреждения (разрушения)

Индекс зоны поражения объекта от разлета кусков породы при взрыве J_{Bi}	Уровень и последствия поражения объекта от разлета кусков породы при взрыве и соответствующей ей радиус зоны поражения, R_i^M	Относительный радиус поражения объекта от разлета кусков породы, R_i^M / R_p^M
I	Отсутствие повреждений, R_1^M	1,00
II	Случайное повреждение остекления, R_2^M	0,70
III	Полное разрушение остекления, R_3^M	0,50
IV	Повреждения от разлета отдельных кусков основных прочностных конструктивных и несущих элементов, исключающие возможность эксплуатации объекта без восстановительного ремонта, R_4^M	0,40
V	Разрушения от действия сплошного потока взорванных кусков горной массы, исключающие возможность восстановления и эксплуатации объекта, R_5^M	0,30
VI	Полное уничтожение объекта от поражающего действия развала взорванной горной массы, R_6^M	0,20

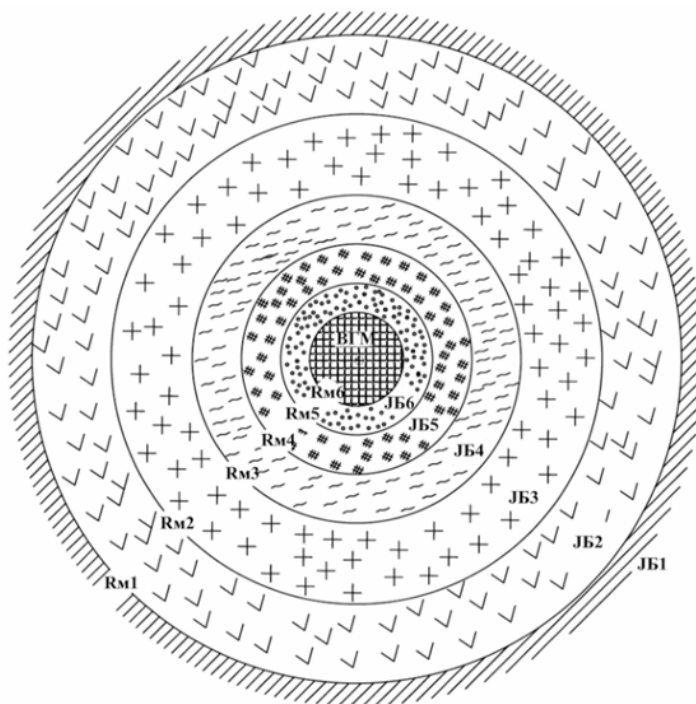


Рис. 5. Схема расположения зон поражения объектов от места взрыва зарядов ВВ при разлете кусков горной породы: ВГМ – зона непосредственного разрушающего действия взрыва в горном массиве; $J_{Бi} = 1 \div 6$ – зоны поражения от разлета кусков породы; $R_1^M \div R_6^M$ – радиусы зон поражения от разлета кусков породы

На расстояниях, сопоставимых с линейными размерами L взрывааемых участков (при $r < 3,5 L$), проявляется влияние пространственного распределения заряда по длине (площади) участка и ориентации луча наблюдения относительно линейных размеров взрывааемых зарядов. Учёт этого фактора в ряде случаев позволяет уменьшить радиусы опасных зон (или увеличить предельные массы зарядов ВВ в замедляемой группе) по сравнению с оценками, полученными для сосредоточенных (точечных) зарядов.

Каждый из представленных типов охраняемых объектов и субъектов может быть детализирован: инженерные сооружения – по признакам, учитывающим изменение степени воздействия поражающего фактора (например, по условиям заглубления, важности, типу и материалу несущих конструкций), а люди – по степени восприятия отдельных проявлений.

При оценках условий безопасности целесообразно учитывать вероятные степени реакций (уровни повреждений) объектов и число (долю) объектов данного типа, проявляющих приращённые (по сравнению с основной) степени реакций при одном и том же уровне действующего фактора опасности (скорость колебаний грунта, давление или импульс воздушных волн и т.д.).

Степени реакций изменяются от нулевой (отсутствие реакции, $d = 0$) до слабой ($d = 1$), умеренной ($d = 2$) и сильной ($d > 2$). Приращения реакций могут быть положительными и отрицательными.

В оценках может быть использован опыт макросейсмической шкалы интенсивности землетрясений (МШИЗ-18) (ГОСТ 34511-2018 Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности. М.: Стандартиформ, 2019. – 28 с.), классы воспринимающих воздействия объектов (люди и инженерные сооружения) которой разделены на подклассы:

- люди: чуткие; нормальные; активные; управляющие механизмами;
- здания: из местных материалов некачественных (A_1); удовлетворительного качества (A_2); хорошего качества (Б); промышленного и гражданского назначения без усиления (В); промышленного и гражданского назначения с семибалльным усилением конструкций (C_7); промышленного и гражданского назначения с восьмибалльным усилением конструкций (C_8); промышленного и гражданского назначения с девятибалльным усилением конструкций (C_9);

Для каждого из подклассов объектов выделены степени воздействий: от $d = 0$ (отсутствие реакции) до $d = 3$ и 4 (сильные реакции) и предусмотрены шесть количественных оценок долевых частей (Wd) в выборках однотипных объектов, проявивших те или иные степени (d): А – единичные (до 2%); Б – отдельные (около 10%); В – некоторые (20%); Г – многие (около 50%); В – большинство (80%); Д – все (более 98%).

В таблице 2 на основе определенных предельных значений избыточных давлений на фронте УВВ, вызывающие различные разрушения зданий и сооружений [10, 11] нами представлена систематизация степени воздействий и повреждений от избыточных давлений УВВ на людей (Л) и инженерные сооружения (И) от взрывных работ на карьерах. Избыточное давление от взрыва заряда ВВ на фронте УВВ определяется по зависимости, Па:

$$\Delta P = P - P_0, \text{ Па} \quad (4)$$

где P – давление на фронте УВВ, Па; P_0 – атмосферное давление (101 325 Па).

Табл. 2. Систематизация степени воздействий и повреждений от избыточных давлений УВВ на людей (Л) и инженерные сооружения (И) от взрывных работ на карьерах

Степень воздействия и повреждения	Вид воздействия и повреждения от УВВ	Избыточное давление на фронте УВВ, ΔP , кПа
Люди (Л)		
I – легкие	Вывихи, ушибы	20-40
II – средние	Контузии, кровь из носа и ушей	40-60
III – тяжелые	Тяжелые контузии, повреждения слуха и внутренних органов, потеря сознания, переломы	60-100
IV – смертельные		>100
Инженерные сооружения (И) – остекление		
I – частичное		0,5-30
II – полное разрушение		3-7
Инженерные сооружения (И) – конструкции		
I – слабая	Разрушение перегородок, оконных рам	12
II – средняя	Разрушение перекрытий, ЛЭП	15
III – сильная	Разрушение кирпичных и блочных стен	30
IV – полное разрушение	Разрушение железобетонных конструкций	90

Закключение. Таким образом, при проектировании параметров буровзрывных работ [12] и определении возможных опасных последствий взрывов следует учитывать, что для безопасности людей требуется обеспечение полной безопасности, т.е. с определенным резервом, а для инженерных сооружений оправданными могут оказаться экономически приемлемые варианты, когда в расчётах безопасности для части (единичных, отдельных или некоторых) объектов имеется допустимый риск приращений степеней реакций по сравнению с основной.

Список литературы

1. Аразклычев А., Мырадова Г., Арчаев С. Общие сведения об инженерных сооружениях: типы, функции и особенности проектирования // Символ науки. – 2024. – № 11-1-1. – С. 38-40.
2. Баймухаммедов Д., Оразов К., Халмырадов А. Общие сведения об инженерных сооружениях // Вестник науки. – 2024. – №10(79). – С. 994-997.
3. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я. Сейсמודинамические исследования севера Евразии для размещения крупных инженерных сооружений // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология – 2008. – №8. – С. 436-442.
4. Жалалдинов М.М., Дуйшеев С.Д., Турабыев Ч.К., Эркали У.У. Методы расчета инженерных сооружений с учетом сейсмических сил // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2022. – №1. – С. 22-25.
5. Пергамент В.Х., Сураев В.С. Классификация условий безопасности взрывов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №1. – С. 119-121.
6. Пергамент В.Х., Котик М.В. О давлениях воздушных волн наземных взрывов // Технология и безопасность взрывных работ: Материалы научно-технической конференции по взрывным работам. – Екатеринбург: Изд-во «Печатное поле», 2012. – С. 255-262.

7. Доможиров Д.В., Пергамент В.Х., Полинов А.А., Пыталев И.А. Обоснование ударно-воздушной волновой безопасности промышленных взрывов больших блоков в каскадах // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – №1-1. – С. 413-426.
8. Доможиров Д.В., Пергамент В.Х., Полинов А.А., Пыталев И.А. Влияние рельефа на ударно-воздушный волновой эффект при взрывных работах в карьере // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 2. – С. 147-157.
9. Кантор В.Х. Особенности определения безопасных расстояний по разлету кусков горных пород при взрывных работах // Технология и безопасность взрывных работ: Материалы научно-производственных конференций по взрывным работам. – Екатеринбург: Изд-во «Печатное поле», 2025. – С. 246-259.
10. Кантор В.Х. Оценка режимов нагружения и разрушающей способности ударно-воздушных волн взрыва // Технология и безопасность взрывных работ: Материалы научно-производственных семинаров по взрывным работам. – Екатеринбург: Изд-во «Печатное поле», 2024. – С. 231-242.
11. Рыбаков А.В., Мухин В.И., Вильданов Р.Р. О методике расчета пространственного распределения энергии осколков вследствие возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Известия института инженерной физики. – 2016. – №3(41). – С. 43-49.
12. Доможиров Д.В. К вопросу повышения эффективности добычи и переработки минерального сырья за счет управления параметрами буровзрывных работ для достижения требований к качеству // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2023. – Т. 21, №1. – С. 5-14.

References

1. Arazklychev A., Myradova G., Archaeev S. General information about engineering structures: types, functions and design features // Symbol of Science. 2024, no. 11-1-1, pp. 38-40.
2. Baimammedov D., Orazov K., Khalmuradov A. General information about engineering structures // Bulletin of Science. 2024, no. 10(79), pp. 994-997.
3. Kutinov Yu.G., Belenovich T.Ya. Seismodynamic studies of the North of Eurasia for the placement of large engineering structures // Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, and Geocryology. 2008, no. 8, pp. 436-442.
4. Zhalaldinov M.M., Duisheyev S.D., Turabyev Ch.K., Erkali U.U. Methods of calculating engineering structures taking into account seismic forces // Izvestiya VUZov Kyrgyzstana. 2022, no. 1, pp. 22-25.
5. Pergament V.Kh., Suraev V.S. Classification of explosion safety conditions // Mining information and analytical bulletin. 2005, no. 1, pp. 119-121.
6. Pergament V. Kh., Kotik M. V. On the Pressures of Air Waves of Ground Explosions // Technology and Safety of Blasting: Proceedings of the Scientific and Technical Conference on Blasting. – Yekaterinburg: Publ. house "Printed field", 2012. – P. 255-262.
7. Domozhirov D.V., Pergament V.Kh., Polinov A.A., Pytalev I.A. Justification of air shock wave safety of industrial explosions of large blocks in cascades // Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. 2023, no. 1-1, pp. 413-426.
8. Domozhirov D.V., Pergament V.Kh., Polinov A.A., Pytalev I.A. Influence of relief on the shock-air wave effect during blasting operations in a quarry // Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. 2023, no. 2, pp. 147-157.
9. Kantor V.Kh. Features of Determining Safe Distances Based on the Spreading of Rock Fragments During Blasting // Technology and Safety of Blasting: Proceedings of Scientific and Production Conferences on Blasting. – Yekaterinburg: Publ. house "Printed field", 2025. – P. 246-259.
10. Kantor V.Kh. Assessment of Loading Modes and Destructive Capacity of Shock-Air Waves of an Explosion // Technology and Safety of Blasting Operations: Materials of Scientific and Production Seminars on Blasting Operations. – Yekaterinburg: Publ. house "Printed field", 2024. – P. 231-242.
11. Rybakov A.V., Mukhin V.I., Vildanov R.R. On the method of calculating the spatial distribution of fragment energy due to the occurrence of man-made emergencies // Bulletin of the Institute of Engineering Physics. 2016, no. 3(41), pp. 43-49.
12. Domozhirov D. V. On the issue of increasing the efficiency of extraction and processing of mineral raw materials by controlling the parameters of drilling and blasting operations to achieve quality requirements // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov. 2023, vol. 21, no. 1, pp. 5-14.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Доможиров Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент	Domozhirov Dmitry Viktorovich – doctor of technical sciences, associate professor
Пыталев Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор	Pytalev Ivan Alekseevich – doctor of technical sciences, professor
Ильтинин Юлай Каримович – аспирант	Il'tinin Yulai Karimovich – postgraduate student
Сизиков Артем Александрович – аспирант	Sizikov Artem Alexandrovich – postgraduate student
Самойлов Сергей Владимирович – студент	Samoilov Sergey Vladimirovich – student
dvd1975@mail.ru	

Получена 02.04.2026