

Методические вопросы исследования дробящей способности взрывчатых веществ

Н. Н. Ефремовцев, к. т. н., старший научный сотрудник ИПКОН РАН

П. Н. Ефремовцев, руководитель отдела БВР ЗАО «Нитро Сибирь»

Разработка и совершенствование новых средств взрывного разрушения горной массы, взрывае- мых сред, средств механизации взрывных работ и технологий их применения при разработке месторождений полезных ископаемых являются одним из важных направлений инновационной деятельности. При этом, как показывают ис- следования, коэффициент полезного действия взрыва, по мнению многих учёных, не превышает нескольких процентов. В этой связи, поиск путей дальнейшего увеличения результативности применения энергии взрыва является чрезвычай- но важной задачей. Одним из путей повышения эффективности использования энергии взрыва являются исследования с применением компо- зиционных имитационных моделей взрывае- мых сред методом физического моделирования действия на них энергии взрыва с последующим анализом распределения энергии взрыва, расхо- дуемой на полезное и опасное действия, перерас- пределения энергии вредного действия взрыва, расходуемой на создание ударной воздушной волны и сейсмическое действие, в полезные фор- мы работы взрыва. Основные требования к мето- дике проведения промышленных экспериментов и конструкции имитационных моделей и экспе- риментальных детонационных систем могут быть сформулированы следующим образом:

- ✕ возможность моделирования, неоднород- ность и анизотропность взрывае- мых сред;
- ✕ учёт изменения во времени свойств про- мышленных взрывчатых веществ.

Критерий для выбора эффективности новых взрывчатых веществ должен быть комплексным, предусматривающим как возможность систем- ного анализа результатов дробящего действия взрыва (изменение параметров зоны эффектив- ного контролируемого дробления и его факти- ческих объёмов), так и минимизацию прироста опасного сейсмического действия взрыва и эко- логических последствий горного производства.

Особенности методологии экспериментальных работ по оценке дробимости взрывае- мых сред

Методические особенности модельных экспери- ментов по разрушению горных пород взрывом наиболее детально раскрыты в работах Л. И. Ба- рона, Б. Д. Росси и В. В. Адушкина.

Оценка дробимости различных горных пород и других взрывае- мых сред является составной частью методики испытаний новых взрывчатых веществ и детонационных систем на их основе. Исследованию дробящей способности взрывчатых веществ и применению моделей из песчано-це- ментной смеси посвящены работы Л. И. Барона,

Б. Д. Росси, С. П. Левчика, в которых проведено исследование взаимосвязи параметров пробы Гесса, работоспособности по Троеклю, теплоты взрыва с показателями дробимости и коэффи- циентом использования шнура при проведении полигонных испытаний.

Методика полигонных испытаний предус- матривала бурение на поверхности уступа под углом 60° наклонных шпуров и взрывания в них равных по весу одиночных колонковых зарядов испытуемых ВВ. Качественные и количе- ственные результаты взрыва оценивались по по- казателям гранулометрического состава отбитой горной массы и численным значениям объёма воронки. Данные сопоставлялись с эксперимен- тально установленными значениями бризантно- сти по Гессу.

К числу недостатков метода можно отнести значительное изменения формы воронки выбро- са от расхода ВВ и невозможность обеспечения сопоставимых условий по совокупности свойств горных пород на весь объём необходимых экспе- риментов. Испытания требуют всегда больших затрат рабочего времени и подбора места для ис- пытаний (забоя, участка на уступе) с достаточно однородными свойствами горных пород.

Авторы считают, что производственные испыта- ния следует считать чрезвычайно плодотворным и необходимым методом решения практических и научных задач области горного дела. Метод производственных испытаний должен исполь- зоваться и абсолютно необходим для оценки достоверности лабораторных и полигонных проб и обоснования возможности применения резуль- татов, полученных на стадии лабораторных и по- лигонных испытаний, в инженерных расчётах.

Необходимо использовать как пробы для оцен- ки сопротивляемости горных пород различным способам воздействия, так и пробы для оценки эффективности различных средств воздействия на горные породы. Условиями эффективного применения первого типа проб является стро- гое соблюдение принципа постоянства способа воздействия и увязка геометрических параметров исследуемого массива с масштабом зон разруше- ния и параметрами однородности макрострук- туры трещиноватости и анизотропии свойств участка массива экспериментального блока. При испытаниях различных сортов руд и оценке влияния их физико-механических свойств на дробящую способность взрывае- мых сред необходимо соблюдение принципа постоянства свойств раз- рушаемых энергией взрыва экспериментальных сред.

Ограниченность лабораторного метода проб на дробимость, сопротивляемость горных пород, эффективность различных средств разрушения с применением энергии взрыва обусловлена



невозможностью учесть все влияющие факторы и условия производства взрывных работ и обеспечить точную численную оценку существующими инженерными методами влияния всех возможных сочетаний условий. Поэтому лабораторные испытания должны сопровождаться значительным объёмом промышленных испытаний и исследований дробящего действия взрыва на конкретных месторождениях. Точность методов испытаний должна превышать погрешность расчёта показателей, применяемых в практике расчёта параметров буровзрывных работ. Экспериментальные данные должны быть систематизированы в конечном варианте в виде классификации. Величина шага численных значений показателей, используемых в классификации, по мнению Л. И. Барона, должна быть не менее полусумм полей рассеяния вероятных значений.

На основе многочисленных предварительных экспериментов Л. И. Бароном предложена «новая проба» для оценки дробящего действия взрыва (авторское свидетельство № 122338 от 01.07.1959). Методика испытаний по новой пробе предусматривает изготовление из песчано-цементной смеси или базальта кубиков со стороной 150 мм с центральным отверстием диаметром 25 мм и глубиной 105 мм. Заряд весом 20 г размещают на дне цилиндрического канала в кубике из базальта. Разрушенный энергией взрыва материал извлекают без потерь из бомбы и производят его ситовый анализ.



Рисунок 1. Подготовка композиционных имитационных моделей для сравнительной оценки воздействия на образцы пород и ценное кристаллосырьё зарядов ВВ с различной скоростью выделения энергии

В ИГД РАН исследования воздействия взрыва проводились в лабораторных условиях. В качестве материала модели использовался прозрачный плексиглас, обеспечивающий возможность оптической регистрации процесса разрушения с применением скоростной съёмки. В легко обрабатываемом материале располагался набор датчиков для регистрации массовой скорости, напряжений и деформаций. Кроме того, использовались следующие материалы: кварцевое стекло, канифоль, лёд, тиосульфат натрия, каменная соль. Использовались заряды от 0,2 до 20 г, размещённые внутри твёрдого тела в воздушной полости на свободной поверхности.

В результате многочисленных экспериментов и последующих научных исследований развития процесса разрушения прозрачных сред получены и систематизированы данные о процессе развития взрыва в динамике, выявлены зоны и последовательность (этапы) передачи разрушающей энергии взрыва среде (первоначально на создание камуфлетной полости, а затем формирование системы поперечных и продольных трещин за счёт передачи взрывающей среде оставшейся части энергии). В основе исследований была оптическая и аналоговая методики регистрации данных. Развитие процесса разрушения взрывом прозрачной среды фиксировалось на фотоплёнку в проходящем свете с применением скоростного фоторегистратора в покадровом варианте

и в виде непрерывной по времени развёртки. Анализировались годографы границы котловой полости, фронта центральной зоны разрушения и характеристики движения фронта волны.

Следует отметить, что в проводимых экспериментах взрываемая среда была искусственной, однородной и неанизотропной, а реальные горные породы и массивы являются анизотропными и неоднородными.

Анализ результатов физических экспериментов свидетельствует о том, что характер разрушения взрываемых сред зависит от скорости движения волны сжатия, передающей энергию окружающей среде и формирующей растягивающие и сжимающие напряжения и определяющей величину работы (и её долю от общей энергии, выделяемой взрывом), которая расходуется на разрушение среды на конкретном расстоянии от источника взрыва. Критерий разрушения Ирвина-Гриффитца, в основе которого идея о концентрации напряжений в области носика трещины, создаёт научную основу представлений о механизме развития ранее образовавшихся отдельных микротрещин в радиальные и поперечные трещины. Процесс

зарождения и раскрытия нано- и микротрещин происходит на волне сжатия. Затем превалируют растягивающие напряжения, создаваемые поршневым действием продуктов взрыва.

В результате обработки изображений выявлены центральная зона (слой) интенсивного разрушения материала взрывающей среды, имеющая шаровую форму. Зона расположена непо-

средственно за границей камуфлетной полости. Материал в этой зоне разрушен большим количеством мелких радиально ориентированных трещин, число которых с расстоянием убывает. Трещины возникали через некоторый промежуток времени вслед за прохождением сферически расширяющейся волны сжатия. Их ориентация, по мнению академика В. В. Адушкина, свидетельствует о том, что они появились в результате действия азимутальных растягивающих напряжений. При этом необходимая величина этих напряжений для разрушения взрывающей среды в этой зоне разрушения возникает в результате радиального смещения под действием волны сжатия.

Для проведения физических экспериментов по оценке влияния различных взрывчатых веществ на образцы пород и ценное кристаллосырьё разработаны различные конструкции композиционных имитационных моделей, обеспечивающих повторяемость моделирования условий проведения экспериментов, моделирование зон действия взрыва, неоднородностей и анизотропии взрываемых сред и многократное



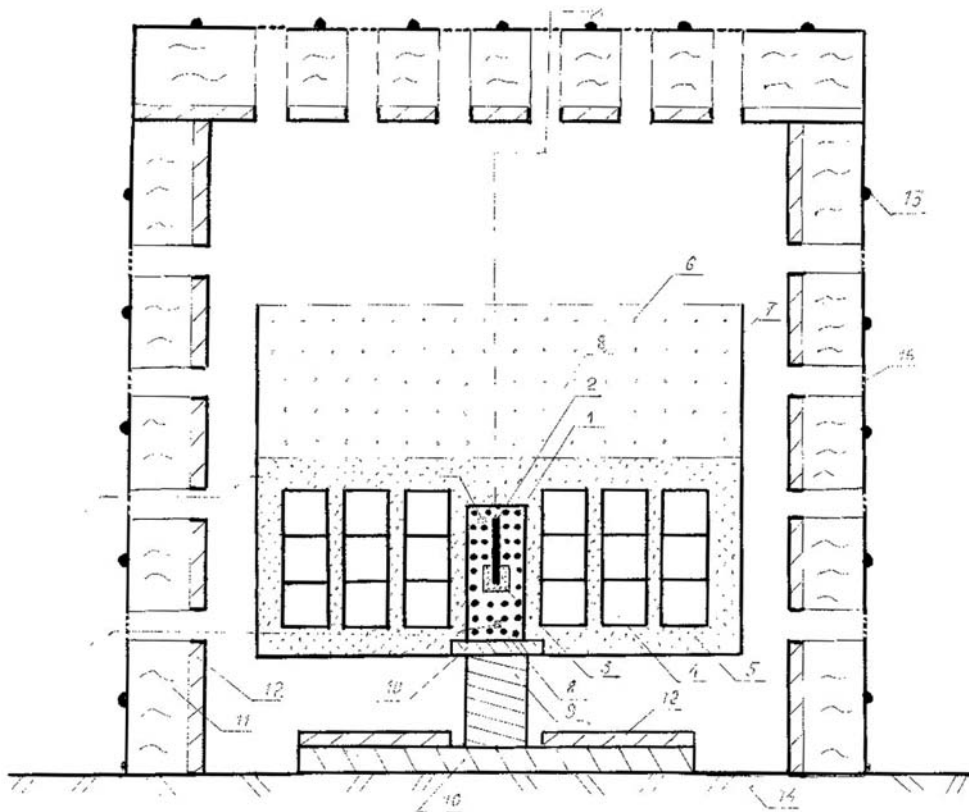


Рисунок 2. Схема композиционной имитационной модели новой стандартной пробы для испытания взрывчатых веществ и оценки дробящего действия взрыва на образцы пород: 1 — испытуемое взрывчатое вещество в полости имитационной модели диаметром 40 мм; 2 — детонатор № 8; 3 — промежуточный детонатор; 4 — испытуемые образцы пород кубической формы; 5 — песчано-цементная матрица композиционной модели; 6 — забойка в полости взрывной камеры; 7 — пластиковая оболочка цилиндрической имитационной модели; 8 — датчики давления; 9 — свинцовый цилиндр диаметром 40 мм и высотой 60 мм; 10 — стальные пластины; 11 и 12 — элементы укрытия взрывной камеры из дерева толщиной не менее 50 мм и транспортной ленты; 13 — хомуты из стальной проволоки; 14 — поверхность земли, покрытая увлажнённым песком; 15 — сетка

повышение производительности труда при проведении испытаний и научных исследований.

В процессе проведения экспериментов было изучено воздействие взрыва на десятки образцов пород и ценного кристаллосырья, имеющих различную прочность, зернистость. Образцы располагались на различном расстоянии от зарядов ПВВ, имеющих различную скорость детонации и диаметр. После взрыва определялся гранулометрический состав взорванной модели из затвердевшей песчано-цементной смеси, изучалась остаточная прочность образцов пород и кристаллосырья, подвергнутых воздействию взрыва с различной кинетикой выделения энергии. Определялся индекс дробимости и трещинообразования как отношения размера стандартного образца к расстоянию между трещинами или размеру фрагментов образца, подвергнутого воздействию взрыва. Построены зависимости и диаграммы индекса дробимости от расстояния до заряда, прочности образцов пород на одноосное сжатие, скорости детонации как одного из показателей, характеризующих кинетику выделения энергии.

Установлено, что зависимость индекса дробимости от прочности пород и расстояния до заряда экспоненциально убывающая.

Зависимости показателей, характеризующих влияние скорости детонации и диаметра заря-

да от предела прочности пород на одноосное сжатие и расстояния до заряда также экспоненциально убывающие, поскольку с ростом прочности пород, подвергаемых воздействию взрыва, влияние диаметра заряда и скорости детонации снижается. В настоящее время проводятся экспериментальные работы, которые позволяют уточнить влияние кинетики выделения энергии при детонации зарядов различного диаметра и расстояния до заряда на остаточную прочность пород, имеющих различные физические свойства и строение.

На рисунке 1 показан один из этапов формирования композиционных имитационных моделей для оценки дробящего действия взрыва зарядов с различной кинетикой выделения и передачей энергии взрываемым средам.

Применение разработанной комплексной методики оценки дробящего и сейсмического действия взрыва, бризантности ВВ позволяет существенно сократить трудоемкость работ в процессе полигонных испытаний, оценить изменение дробящего действия взрыва одновременно на 8–10 типов пород в зависимости от расстояния от заряда, бризантности ВВ, показателей кинетики выделения энергии взрыва, а также провести сравнительную оценку сейсмического действия взрыва, действия ударной воздушной волны, скорости и высоты разлёта фрагментов взрываемых материалов. Методика и её аппара-



Таблица 1. Результаты обработки экспериментальных данных

Наименование материала взрывающей среды	Средние значения предела прочности, МПа	Средние численные значения индекса трещинообразования и дробимости при использовании эталонного ПВВ со скоростью детонации 4,5 км/сек и скоростью выделения энергии $15,25 \times 10^6$ КДж/сек	Средние численные значения индекса дробимости и трещинообразования при использовании нового ПВВ для щадящего взрыва со скоростью детонации 2,0 км/сек и скоростью выделения энергии $5,32 \times 10^6$ КДж/сек
1. Кристаллосырье 1.1. Бериллы 1.2. Кварц	29,75	13,22	2,59
2. Крупнозернистые породы, пористые породы и материалы	80	5,93	1,44
3. Мелкозернистые породы и материалы	134,8	3,05	1,45
4. Тонко-мелкозернистые породы, руды и материалы	235,3	1,75	1,0
5. Вязкие и тонкозернистые породы, руды и материалы	289	1,28	1,0

турное обеспечение позволяют дать численную оценку энергии взрыва, расходуемую на полезное дробящее действие, и опасным действиям взрыва, создаваемым энергией сейсмических колебаний и ударной воздушной волной.

На рисунке 2 приведена схема одной из разработанных композиционных имитационных моделей и укрытий многообразного применения.

Конструкция укрытий обеспечивает регулируемый выпуск за пределы охраняемого контура модели газообразных продуктов взрыва и при этом позволяет удержать в пределах радиуса укрытий подвергнутые взрывной нагрузке образцы пород и материалов имитационной модели.

Композиционная модель отливается в два или три слоя по вертикали. В верхнем и нижнем слоях выделяются цветом три цилиндрические зоны действия взрыва от центра оси заряда. Подсчёт гранулометрического состава взорванной модели осуществляется отдельно по каждой зоне действия взрыва. В центральной части модели располагают образцы пород с различными физическими свойствами кубической формы с размером ребра 2,5–5,0 см. Образцы нумеруются по зонам действия взрыва и порядку расположения относительно заряда. После взрыва образцы и их фрагменты обследуются и устанавливается зависимость индекса дробления и трещинообразования, остаточной прочности неразрушенных образцов и матрицы модели в зависимости от расстояния до заряда и взрывчатых характеристик зарядов, в том числе скорости выделения энергии.

Центральная часть композиционной имитационной модели изготавливается с использованием образцов кубической формы испытуемых типов пород размером ребра 30–50 мм. В центре модели формируется полость диаметром 30–40 мм для размещения испытуемого заряда. Образцы пород кубической формы размещают радиально в один или несколько слоев (рисунок 2). В качестве эталонного заряда используется Аммонит 6ЖВ весом 80–100 г. Взрыв каждого испытуемого заряда производится отдельно. После взрыва фрагменты образцов пород собираются. Определяется расстояние между трещинами

и остаточная прочность образцов по известным методикам. Устанавливаются численные значения индексов дробимости (отношения среднего расстояния между трещинами или среднего размера куска после взрыва к среднему размеру образца) на различном расстоянии от заряда. Для образцов руд определяется влияние скорости выделения энергии и расстояния до заряда на показатели обогащения и раскрытие зёрен рудных минералов.

В основу методики определения бризантности положен метод Гесса — обжатие свинцового цилиндра длиной 60 мм и диаметром 40 мм, расположенного на горизонтальной стальной пластине. На цилиндр через стальную пластинку установлен заряд ВВ диаметром 40 мм и весом базового ВВ 100 г. При малой восприимчивости ВВ к капсюлю-детонатору применяют дополнительно шашки из прессованного тротила или другого мощного ВВ массой 5 г. Для испытания Гранулитов рекомендуется использовать шашку-промежуточный детонатор из Аммонита 6ЖВ весом 10–15 г.

Результаты экспериментальных исследований

Некоторые результаты обработки экспериментальных данных представлены в таблице 1. На основе этих результатов получены зависимости и показатели, характеризующие влияние кинетики выделения энергии зарядами ВВ на степень дробления пород, имеющих различную прочность, а также зависимости показателей дробимости от расстояния до заряда и скорости выделения энергии взрыва.

В процессе допуска к промышленному использованию нового состава ВВ Гранулита ЕФ-П отрабатана методика и проведён в производственных условиях значительный объём экспериментальных работ по оценке дробящего действия нового взрывчатого вещества в сравнении со штатным ВВ Гранулитом-Игданитом на пористой селитре. Гранулометрический состав взорванной горной массы определялся отдельно для трёх выделенных зон действия взрыва. В таблице 2 представлены численные значения индекса дробимости и среднего размера куска, а также



Таблица 2. Численные значения индекса дробимости и среднего размера куска

Наименование показателя	Значения показателей в различных зонах действия взрыва		
	I зона	II зона	III зона
Расстояние до заряда, м	0–0,5	0,5–2,0	2,0–3,0
Средний размер куска (см) при использовании: — Гранулита-Игданита — Гранулита ЕФ-П	до 11 до 6	11–17 6–10	17–85 10–75
Индекс изменения среднего размера куска с увеличением расстояния до заряда (д. ед.) при использовании: — Гранулита-Игданита — Гранулита ЕФ-П	4 2,34	1,07 0,93	5,67 11,43
Индекс дробимости (д. ед.) при использовании: — Гранулита-Игданита — Гранулита ЕФ-П	8 15	6–8 10–15	6–0,7 10–0,75
Степень изменения дробимости с увеличением расстояния до заряда (д. ед.) при использовании: — Гранулита-Игданита — Гранулита ЕФ-П	2,14 5,67	0,47 0,93	1,19 2,13

индексы изменения этих показателей с увеличением расстояния до заряда в различных зонах действия взрыва для штатного ВВ (Гранулита-Игданита) и Гранулита ЕФ-П.

В процессе проведения промышленных испытаний помимо оценки гранулометрического состава взорванной горной массы производились замеры фактических параметров зоны дробления, замерялись показатели ударной воздушной волны и сейсмического действия взрыва.

Взрываемый блок с неизменными параметрами БВР делили на две части. Одна часть заряжалась с применением штатного ВВ, а другая — с использованием Гранулита ЕФ-П. Напротив каждой скважины в 15–20 м (в зависимости от ширины рабочей площадки) устанавливались «маяки» и измерялось расстояние от каждой скважины до соответствующего маяка. После взрыва измеряли расстояния до линии отрыва и определяли фактические размеры зоны эффективного контролируемого дробления при использовании штатного ВВ и нового испытываемого состава. Обработка результатов экспериментов, проведенных в производственных условиях, показала, что при использовании Гранулита ЕФ-П (скорость выделения энергии $9,8 \times 10^6$ КДж/сек) вместо штатного ВВ Гранулита-Игданита (показатель кинетики выделения энергии составляет $6,8 \times 10^6$ КДж/сек) расстояние между крайними скважинами и линией отрыва увеличилось с 2,5 м в среднем на 1,8 м до 4,3 м.

Эксперименты проводились и на сложноструктурном месторождении, представленном породами разной прочности. Анализ результатов экспериментальных работ в производственных условиях свидетельствует о том, что природные параметры зоны контролируемого эффективного дробления прямо пропорционален кинетике выделения энергии взрыва (скорости выделения энергии) и обратно пропорционален прочности разрушаемых взрывом пород.

Применение нового взрывчатого вещества Гранулита ЕФ-П вместо Гранулита-Игданита (АС/ДТ-6 на пористой селитре) позволяет уве-

личить параметры сетки скважин и существенно сократить расход бурения. Установлены зависимости и численные значения коэффициентов для корректировки параметров БВР при переходе на взрывчатые вещества и детонационные системы на основе взрывчатых смесей, отличающиеся скоростью выделения энергии взрыва.

Для оценки влияния скорости выделения энергии на разрушающее действие взрыва проведены полигонные экспериментальные работы по дроблению негабарита с применением зарядов Гранулита ЕФ-П. Заряды в пластиковой оболочке равного веса и размера размещались под укрытием из глины на поверхности блоков негабаритных отдельностей одинакового размера поперёк и вдоль напластования. Инициирование производилось с применением электрических систем инициирования и бустеров таким образом, что измеренная скорость детонации изменялась от 2,0 до 3,7 км/сек, а суммарное количество выделяемого при взрыве тепла практически оставалось неизменным. Производилось дробление негабарита и с применением накладных зарядов из Аммонита 6ЖВ (скорость детонации 4,5 км/сек). Производилась фотосъемка и осмотр зоны действия взрыва. Во всех случаях остатки ВВ отсутствовали, происходило полное химическое превращение с выделением газообразных продуктов взрыва, но с разной скоростью. Результаты простых полигонных экспериментов позволили сделать следующие выводы:

Целесообразно по аналогии с термином «Критический диаметр детонации» использовать термин «критическая скорость выделения энергии зарядом ВВ» или «детонационной системой». При скорости ниже «критической» не происходит разрушения взрывом материала среды, и измерения показывают существенное (на 25–35%) увеличение показателей ударной воздушной волны. Индекс дробления при этом равен 1.

Увеличение скорости выделения энергии зарядами в диапазоне значений выше критической величины сопровождается вначале пропорциональным повышением интенсивности дробления (индекса дробления) и снижением среднего



Таблица 3. Классификация взрывааемых сред по степени устойчивости к энергии взрыва

Классы разрушаемых сред	Наименование взрывааемых сред	Расчётная минимальная удельная скорость выделения энергии, КДж/сек	Индексы дробимости по стандартной пробе, д. ед.
I класс — неустойчивые разрушаемые среды	1. Хрупкое кристалло-сырьё с высокой анизотропией физических свойств 1.1. Бериллы 1.2. Кристаллы кварца	от $1,3 \times 10^6$	13–25
II класс — весьма слабоустойчивые разрушаемые среды	Рудный кварц, алмазы, богатые железные руды КМА, маритовая руда, непрочные песчано-цементные смеси	от 2×10^6	10–12
III класс — слабоустойчивые разрушаемые среды	Мрамор с малым содержанием кварца (белый), пирротин, известняк, капустинский гранит, апатит, кирпич, песчано-цементные смеси средней прочности	от $3,0 \times 10^6$	9–12
IV класс — разрушаемые среды средней устойчивости (крупнозернистые, пористые породы)	Крупнозернистые красные и серые граниты, пористые песчаники, известняки средней прочности, яшмовидные породы, мрамор с высоким содержанием кварца, яшмы, плотный кварц с пиритом, бетон средней прочности	от $5,0 \times 10^6$	6–8,8
V класс — устойчивые разрушаемые среды (мелкозернистые породы)	Плотный тёмно-серый известняк, серый мрамор, гранодиориты, роговик, мелкозернистые граниты с литой структурой, рудный кварц, доломиты и доломитизированные и окварцованные известняки, прочные бетоны	от $8,4 \times 10^6$	3–5
VI класс — весьма устойчивые к разрушению среды (тонкозернистые, вязкие породы и материалы)	Габбро, биотитовый гранодиорит, титаномagnetиты Качканарского месторождения, magnetитовая руда, железистые кварциты, кварцитовый сланец,	от $11,25 \times 10^6$	1,0–2,8
VII класс — в высшей степени устойчивые	Порфирит диоритовый, плотный порфир, тырнауский скарн, массивные металлические конструкции	от $13,5 \times 10^6$ до 28×10^6 (для массивных металлических конструкций)	1,0

размера куска. Зависимость имеет нелинейный характер. Происходит «насыщение», и можно говорить по аналогии с предельным диаметром детонации о целесообразности использования термина «предельная скорость выделения энергии». При использовании ВВ, имеющих показатели кинетики выделения энергии взрыва больше «предельной», не происходит дальнейшего повышения эффективности дробления. Данный вывод подтверждает анализ результатов экспериментальных работ Л. И. Барона, с использованием данных которых получен график зависимости коэффициента использования шпура от скорости выделения энергии зарядов, используемых на проходке взрывчатых веществ, который также подтверждает линейную прямопропорциональную взаимосвязь коэффициента использования шпура с показателем кинетики выделения энергии до предельного значения скорости выделения энергии (20×10^6 КДж/сек). Применение зарядов ВВ на проходке выработок со скоростью выделения энергии больше «предельной» приводит к снижению показателя использования шпу-

ра, т. е. к снижению размеров зоны эффективного контролируемого дробления.

В результате систематизации полученных экспериментальных данных и научного обобщения предложена «Классификация взрывааемых сред (горных пород) по степени устойчивости к воздействию энергии взрыва». Актуальность создания такой классификации обусловлена, в частности, переходом на разработку месторождений на большой глубине. Безопасность ведения работ в этих условиях зависит и от остаточной прочности пород после многократного воздействия взрыва. Использование термина «взрывааемая среда» вместо «горная порода» связано с тем, что в процессе строительства и сноса производственных объектов и подземных сооружений при разработке месторождений необходимо изучать воздействие взрыва на закладочные смеси,



различные строительные конструкции из бетона, металла, кирпича.

Критериями для систематизации взрывающих сред могут быть:

- ✂ численные значения кинетики (скорости) выделения разрушающей энергии взрыва (КДж/сек), обеспечивающей полную потерю прочности и разрушение взрывающей среды;
- ✂ численные значения индекса дробимости и трещинообразования, полученные при проведении стандартизованных испытаний образцов взрывающих сред, степени снижения остаточной прочности при одноосном или объёмном сжатии, которые характеризуют максимальную энергию, которую может аккумулировать структура взрывающей среды до её разрушения.

При анализе воздействия взрыва на массивы горных пород необходимо учитывать степень природной и техногенной трещиноватости массива, изменение внешнего давления горных пород с увеличением глубины разработки месторождения.

Предлагается выделить 7 категорий взрывающих сред в соответствии с полученными экспериментальными данными. Классификация взрывающих сред по степени устойчивости к энергии взрыва приведена в таблице 3.

Основные выводы

- ✂ Анализ результатов лабораторных, полигонных и промышленных экспериментов подтверждает стадийный и зональный характер действия взрыва на разрушаемые среды. Размер зоны контролируемого эффективного дробления зависит от показателей кинетики выделения энергии взрыва, прежде всего, от скорости выделения энергии, расстояния до заряда и физико-механических свойств пород. Степень влияния расстояния до заряда на показатели среднего размера куска и индекс дробимости и их абсолютные численные значения для трёх выделенных зон действия взрыва существенно отличаются.
- ✂ Повышение эффективности взрывных работ зависит от возможности управлять размерами зон разрушения, показателями дробимости массива, сейсмическим действием взрыва с минимальными затратами. Приrost зоны контролируемого эффективного дробления прямо пропорционален скорости выделения энергии взрывного превращения ПВВ и обратно пропорционален прочности разрушаемых взрывом пород.
- ✂ Предлагается производить расчёты параметров БВР и опасных зон с учётом показателя кинетики (скорости) выделения энергии взрыва. Выбор промышленных взрывчатых веществ и параметров детонационных систем, обеспечивающих рациональную кинетику выделения энергии с учётом сейсмического действия взрыва, является многофакторной оптимизационной задачей. При этом скорость выделения энергии является

важнейшим показателем выбора взрывчатых веществ для эффективного решения конкретных задач взрыва.

- ✂ Изменение скорости выделяемой взрывом энергии позволяет увеличивать коэффициент полезного (дробящего) действия взрыва и перераспределять энергию опасного воздействия взрыва (снижать параметры ударной воздушной волны и сейсмического эффекта, разброс фрагментов взорванной горной массы) в полезную работу по разрушению массива.
- ✂ Снижение кинетики выделения энергии зарядами ВВ и детонационными системами на их основе позволяет повысить эффективность добычи ценного кристаллосырья.
- ✂ Предложены классификации взрывающих сред и средств разрушения по степени устойчивости к воздействию энергии взрыва на основе кинетического показателя разрушающего действия взрыва.

