

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
INSTITUTE OF COMPLEX EXPLORATION  
OF UNDERGROUND DEPOSITS  
INSTITUTE OF MINING OF SIBERIAN BRANCH  
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

# **PHYSICAL PROBLEMS OF ROCK BREAKING**

Proceedings of the Third International  
Scientific Conference  
September 9–14, 2002  
Abaza (Khakassiya)

Edited by Academician RAS *K.N. Trubetskoi*  
Professor *S.D. Victorov*



NOVOSIBIRSK  
“NAUKA”  
2003

# **ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

Сборник трудов  
Третьей международной научной конференции  
9–14 сентября 2002 г.  
Абаза (Хакасия)

Под редакцией  
академика К.Н. Трубецкого,  
доктора технических наук, профессора С.Д. Викторова



НОВОСИБИРСК  
“НАУКА”  
2003

УДК 622.235  
ББК 33.13  
Ф 48

**Физические** проблемы разрушения горных пород: Сб. тр. Третьей междунар. науч. конф., 9–14 сент. 2002 г., Абаза (Хакасия). — Новосибирск: Наука, 2003. — 288 с.

ISBN 5–02–032057–9.

В сборнике представлены работы участников конференции по вопросам: теоретические проблемы разрушения горных пород, технологические проблемы разрушения в процессах горного производства, взрывчатые вещества и средства механизации их применения, экологическая безопасность при разработке месторождений.

Сборник предназначен для специалистов по разрушению горных пород, а также преподавателей вузов.

**Physical Problems of Rock Breaking:** Proc. Third Intern. Sci. Conf., Sept. 9–14, 2002, Abaza (Khakassiya). — Novosibirsk: Nauka, 2003. — 288 p.

The book contains articles of the conference members in the following spheres: theoretical problems of rock breaking, technological problems of breaking in mining production, explosives and means of their application mechanization, environmental safety in deposit mining.

The book is of interest for specialists in rock breaking and lecturers of higher technical institutions.

#### Научные редакторы

доктор технических наук А.А. Еременко, доктор технических наук В.М. Закалинский

#### Р е ц е н з е н т ы

доктор технических наук О.Б. Кортелев

доктор технических наук Ю.А. Рыжков

кандидат технических наук В.А. Еременко

Утверждено к печати Ученым советом Института горного дела СО РАН

Без объявления

ISBN 5–02–032057–9

© Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2003

© Институт горного дела СО РАН, 2003

© Оформление. “Наука”. Сибирская издательская фирма РАН, 2003

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

9–14 сентября 2002 г. в г. Абаза (Республика Хакасия) состоялась Третья международная научная конференция “Физические проблемы разрушения горных пород”. В ее открытии и проведении участвовали: Н.И. Байгородов — генеральный директор ООО “Абаканское рудоуправление”, И.И. Вишневецкий — член Правительства Республики Хакасия, С.Д. Викторов — заместитель председателя оргкомитета конференции, профессор.

Конференция, утвержденная решением Отделения наук о Земле РАН в качестве постоянно действующей, проведена Институтом проблем комплексного освоения недр (ИПКОН) РАН и Институтом горного дела (ИГД) СО РАН совместно с Российским фондом фундаментальных исследований, Госгортехнадзором России, Институтом динамики геосфер РАН (ИДГ РАН), Московским государственным горным университетом (МГГУ), Научно-учебным центром фундаментальных и прикладных исследований в области горного дела ИПКОН РАН и МГГУ, Академией горных наук на базе Абаканского рудоуправления (Республика Хакасия).

На конференции представлены результаты фундаментальных, теоретических и экспериментальных исследований процессов разрушения горных пород при различных видах воздействия, современных математических моделей описания разрушения горных пород, методов расчета действия взрыва, разработки и применения взрывчатых веществ и технологий взрывных работ, экологической безопасности при добыче полезных ископаемых, нетрадиционных способов разрушения горных пород с целью наметить пути и перспективы развития горного производства в условиях рыночной экономики.

Тематика конференции вызвала большой интерес широкого круга специалистов. В ее работе приняли участие 115 представителей 62 организаций России, Китая, Украины, Узбекистана и Казахстана. С пленарным докладом “Концепция развития буровзрывных работ на подземных рудниках” выступили К.Н. Трубецкой, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский. По регламенту проведения конференции на пленарном заседании были заслушаны доклады представителей ряда стран и организаций, освещивших вопросы разработки и применения порошкообразного эмульсионного ВВ (Van Сюй-гуань, Китай); проблемы детонации и взрыва гетерогенных ВВ (К.К. Шведов, ИПХФ РАН); развития буровзрывных работ при подземной разработке рудных месторождений (А.А. Еременко, Н.И. Байгородов, С.В. Фефелов, А.П. Гайдин, И.В. Машуков — различные организации Сибирского региона); особенности применения эмульсионного ВВ украинита-ПМ и закономерности разрушения горных пород при его взрывании (Р.С. Крысин, Украина); экологические проблемы работы горных предприятий и системы охраны природы (К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко, И.И. Вишневецкий — ИПКОН РАН, Правительство Республики Хакасия).

Работа конференции проводилась по трем секциям: теоретические проблемы разрушения горных пород, технологические проблемы разрушения в процессах горного производства, экологическая безопасность при разработке месторождений.

В области теоретических и технологических проблем разрушения горных пород в процессах горного производства отмечены следующие результаты ряда научно-исследовательских институтов и учебных университетов.

Разработана новая концепция совершенствования буровзрывных работ на подземных рудниках, которая базируется на идее значительного сокращения числа массовых взрывов на горных предприятиях при той же годовой добыче за счет увеличения масштаба взрывных работ и применения концентрированных зарядов большой массы. Предложена классификация горных пород по эффективности взрывной отбойки разного масштаба. Разработана программа автоматизированного проектирования буровзрывных работ, использующая компьютерную базу данных о карьере для расчета параметров буровзрывных работ, а также обеспечивающая полный набор проектной документации.

Установлены новые особенности проявления динамических явлений в массиве в зависимости от энергии взрывов и очередности взрываания. Снижение их интенсивности, отвечающее безопасному уровню ведения горных работ, достигается редкой периодичностью проведения крупномасштабных взрывов, а также последовательностью и скоростью выпуска горной массы на рудных месторождениях в Алтае-Саянской горной области. На основе совместных теоретических и экспериментальных исследований ИПКОН РАН, ИГД СО РАН, ВостНИГРИ, Абаканского и Таштагольского рудоуправлений обоснована технико-экономическая целесообразность отбойки руд концентрированными зарядами большой мощности. Разработаны конструкции таких зарядов, технология их формирования, рациональные параметры размещения в отбиваемом массиве, способы и условия эффективного взрываания, обеспечивающие качественное дробление горной массы и защиту от сейсмического воздействия взрывов прилегающих объектов.

Установлены обобщенные закономерности разрушения горных пород при шарошечном и ударно-вращательном способах бурения шпуров и скважин, которые позволили дать оценку целесообразности применения отечественной и зарубежной техники на карьерах разной производительности.

Разработано низкочувствительное наливное эмульсионное ВВ, не содержащее газовых пузырьковых включений, сенсибилизированное высокогенергетической металлической добавкой (ферросилицием). Для этого ВВ (украинит-ПМ) на базе оборудования для изготовления и заряжания горячельющихся акватолов создана промышленная технология изготовления и применения, что существенно снижает капитальные вложения при переходе от тротилсодержащих акватолов к эмульсионному ВВ. Разработана математическая модель расчета гранулометрического состава в зависимости от типа ВВ и прочностных характеристик массива.

Сформулированы основные положения концепции экологической безопасности при освоении минеральных ресурсов недр в интересах устойчивого развития природы и общества. Изучены экологические особенности и определены основные направления развития геотехнологии освоения маломасштабных месторождений.

Отмечена необходимость концентрации внимания исследователей на следующих приоритетных научных направлениях:

- теоретические и экспериментальные исследования методов управления распределением энергии взрыва в отбиваемом массиве и за его контуром при применении концентрированных зарядов большой мощности для дробления больших объемов горных пород;
- разработка современных методов комплексного определения физических свойств горных пород реального массива и изучение возможности целенаправленного их изменения с целью повышения эффективности технологических процессов;
- исследование физико-механических процессов, создание новых методов и средств разрушения горных пород при бурении шпуров и скважин, образовании полостей;
- контроль качества и оперативного измерения параметров детонации при изготовлении промышленных ВВ на местах применения. Разработка методов оценки взрывной эффективности и безопасности ВВ местного изготовления с доведением их до стандартных методов испытаний;
- разработка математических моделей и численных методов исследования физических процессов при взрыве зарядов различных конструкций в сложных условиях взрываания с целью максимального учета и удовлетворения требований к взрыву со стороны геотехнологий;
- создание для подземных условий буровой техники нового поколения с высокой объемной скоростью бурения взрывных скважин для концентрированных зарядов, механизацией и автоматизацией вспомогательных процессов;
- разработка методов и средств локального действия взрыва для проведения специальных видов взрывных работ при использовании конверсионных взрывчатых материалов разного агрегатного состояния;
- исследование реакции естественной биоты Земли на действие техногенных факторов горного производства и создание на этой основе методологической базы для нормирования изъятия компонентов природной среды и техногенной нагрузки на нее при освоении недр;

Итоги работы секций были подведены на последнем пленарном заседании, на котором принято Решение конференции. Участники конференции имели возможность ознакомиться с работой шахты Абаканского рудоуправления, установить взаимные творческие контакты.

Проведение международных конференций по физическим проблемам разрушения горных пород стало хорошей традицией и надеемся, что она будет продолжена.

Председатель оргкомитета  
академик РАН К.Н. Трубецкой

---

## **ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **РОССИЯ**

**Трубецкой Климент Николаевич**

академик РАН, ИПКОН РАН — председатель оргкомитета  
профессор, доктор технических наук, ИПКОН РАН — заместитель председателя оргкомитета

**Еременко Андрей Андреевич**

доктор технических наук, ИГД СО РАН — заместитель председателя оргкомитета

**Лебедь Алексей Иванович**

председатель Правительства Республики Хакасия — заместитель председателя оргкомитета

**Литвиненко Владимир Стефанович**

профессор, доктор технических наук, СПГГИ(ТУ) — заместитель председателя оргкомитета

**Субботин Александр Иванович**

Госгортехнадзор России — заместитель председателя оргкомитета

**Казаков Николай Николаевич**

доктор технических наук, ИПКОН РАН — ученый секретарь оргкомитета

**Адушкин Виталий Васильевич**

член-корреспондент РАН, ИДГ РАН

**Байбороев Николай Иванович**

генеральный директор ООО “Абаканское рудоуправление”,  
член Президиума Верховного совета Республики Хакасия

**Белин Владимир Арнольдович**

профессор, доктор технических наук, МГГУ

**Гайдин Андрей Павлович**

кандидат технических наук, генеральный директор ОАО “Шерегешское рудоуправление”

**Гальцов Геннадий Васильевич**

главный инженер ОАО “Кузнецкий ГОК”

**Закалинский Владимир Матвеевич**

доктор технических наук, ИПКОН РАН

**Закревский Михаил Павлович**

начальник управления Енисейского округа Госгортехнадзора  
России

**Кравцов Валерий Васильевич**

доктор технических наук, ректор Красноярской государственной  
академии цветных металлов и золота

**Курленя Михаил Владимирович**

академик РАН, ИГД СО РАН

**Лаврик Александр Николаевич**

генеральный директор ОАО “Запсибметкомбинат”

**Лебедев Анатолий Васильевич**

доктор технических наук, генеральный директор ОАО  
“ВостНИИ”

**Максимова Евдокия Петровна**

кандидат технических наук, Научный совет РАН по проблемам горных наук

**Мезенцев Михаил Иванович**

генеральный директор ЗАО “Сибирская горная компания”

**Перепелицын Александр Иванович**

начальник Управления по надзору в горно-рудной промышленности Госгортехнадзора России

**Сизов Иван Амфилофьевич**

профессор, доктор физико-математических наук, Российский фонд фундаментальных исследований

**Фефелов Сергей Владимирович**

главный инженер, ООО “Абаканское рудоуправление”

**Цинкер Леонид Маркович**

доктор технических наук, генеральный директор ОАО “ВостНИГРИ”

### **КИТАЙ**

**Ван Сюй-гуань**

академик, профессор, Пекинский центральный НИИ по горному делу и металлургии

### **БОЛГАРИЯ**

**Вутов Тзоло**

Научно-технический союз по минному делу, геологии и металлургии

### **КАЗАХСТАН**

**Ракишев Баян Ракишевич**

член-корреспондент НАН РК, Казахский национальный технический университет

### **СЕРБИЯ**

**Крсманович Иван**

профессор, доктор технических наук, корпорация “TRAYAL”

### **УКРАИНА**

**Ефремов Эрнест Иванович**

член-корреспондент НАН Украины, Институт геотехнической механики НАН Украины

# **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

---

**К.Н. Трубецкой, С.Д. Викторов, В.М. Закалинский**

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Россия*

## **КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ**

Задачи, стоящие перед геотехнологией не ограничиваются простым использованием достижений в других областях знаний для получения конкретных технологических решений [1]. Создание новых и дальнейшее совершенствование имеющихся геотехнических способов добычи полезных ископаемых требует рассмотрения вопросов, каждый из которых представляет самостоятельный научный и практический интерес. Так, перспективная в условиях рыночной экономики идея сокращения числа массовых взрывов на горных предприятиях [2] с резким снижением известных негативных последствий и дополнительных работ, связанных с их проведением, может быть реализована на базе традиционной взрывной технологии с использованием достижений геомеханики крупномасштабных взрывов [3].

Одна из задач исследований в области крупномасштабной отбойки заключается в разработке экономически выгодных способов подготовки на основе максимально возможного сокращения объемов горно-проходческих работ и обоснование условий ее применения.

Известны результаты работ по геомеханике крупномасштабных взрывов, представляющие интерес для горной практики [4, 5]. Возможность прогнозирования и управления действием крупномасштабного подземного взрыва связывается, в первую очередь, с учетом особенностей строения, горно-физическими и горно-геологическими свойствами горного массива. Естественные структурные нарушения рассматриваются в качестве одной из наиболее важных характеристик массивов горных пород. Отмечается, что применение воздушной полости позволяет значительно видоизменить импульс взрыва и снизить сейсмическое воздействие подземного взрыва, а при определенной конструкции заряда ведет к более рациональному распределению энергии взрыва между диссирируемой и полезной частью. Важная особенность связана с параметрами деформирования твердой среды при взрывах разного масштаба. Механизм разрушения горной породы при взрывах разного масштаба таков, что наибольшие деформации материала среды на близких расстояниях от взрыва, что эквивалентно мелкомасштабной отбойке при подземной разработке месторождений, достигаются после прохождения фронта волны [6]. При этом возможен процесс дробления среды внутри области, охваченной фронтом волны (множественное трещинообразование). Средний размер отдельности при этом должен возрастать с ростом масштаба взрыва как  $Q^{1/3}$ . Указанный механизм дробления осуществляется при взрыве с малой энергией.

В случае крупномасштабных взрывов порода разрушается в волне сжатия, причем степень дробления среды зависит как от амплитуды волны, так и от продолжительности той части фазы сжатия, в которой напряжения превосходят прочность горной породы. При крупных взрывах единственным параметром, определяющим размер отдельности, образующейся на разных расстояниях от взрыва заряда при дроблении в результате нагружения волной сжатия, является амплитуда волны напряжений. При условии, что среда однородна, средний размер отдельности при взрывах разного масштаба определяется значением напряжений, достигаемых в волне. Отсюда следует, что в пределах объема, пропорционального мощности взрыва, интегральный гранулометрический состав взорванной массы не должен зависеть от масштаба воздействия. В реальном случае размер отдельности должен несколько уменьшаться с ростом  $Q$  вследствие дополнительного дробления горной породы в объеме (результат поршневого действия продуктов взрыва). Причем вклад указанной добавки возрастает с увеличением масштаба взрыва.

Смена механизма разрушения среды при изменении масштаба взрывного воздействия заметно сказывается на равномерности дробления. Указывается, что равномерность дробления при крупномасштабных взрывах практически не зависит от его мощности в весьма широком диапазоне  $Q$ , начи-

ная с  $Q = 10^2$  кг [3]. Так, параметр равномерности дробления среды  $n$  для крупномасштабных взрывов, начиная с  $Q = 10^2$  кг, практически не меняется:  $n = \text{const} \approx 0,8$  (рис. 1).

Средние размеры отдельностей разного масштаба в среде, разрушенной взрывом, представлены на рис. 2 и 3. Видно, что максимальный размер куска при крупномасштабном взрыве близок к размеру кондиционного куска на горном предприятии при применении крупномасштабной отбойки. Вблизи границы зоны разрушения размер куска приближается к размеру естественной отдельности в массиве. Это значительно упрощает прогноз гранулометрического состава крупномасштабных взрывов. Наконец, отметим еще одну принципиально важную возможность управления разрушающим действием взрыва с помощью предварительной подготовки массива путем создания незаполненных экранов, нужным образом оконтуривающих источник взрыва [5]. В результате лабораторного эксперимента установлено более равномерное дробление породы в случае применения щелевого экрана. Одновременно наличие экрана ведет к существенному увеличению общего объема породы, раздробленной до более мелких фракций. Анализ свидетельствует, что относительный объем породы, разрушенной в результате экранированного взрыва до отдельностей, 50 % которых имеют размер, меньший условной величины  $x$ , существенно больше по сравнению с взрывом в однородной среде. Принимая в качестве величины, определяющей коэффициент полезного действия взрыва с точки зрения дробления горной породы, площадь поверхности образовавшихся в результате разрушения отдельностей, легко получается, исходя из данных на рис. 4, что присутствие щелевого экрана, оконтуривающего взрывной источник с четырех сторон, повышает эффективность взрыва в 1,35 раза. Если же щель ограничивает разрабатываемый блок породы только с одной стороны, то и в этом случае ожидаемый прирост эффективности достаточно высок и составляет около 10 % энергии взрыва.

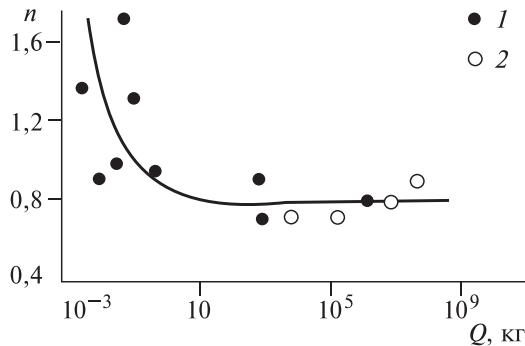


Рис. 1. Показатель распределения Розина – Раммлера для горной массы, разрушенной взрывом.

1 — взрывы химического ВВ; 2 — подземные ядерные взрывы.

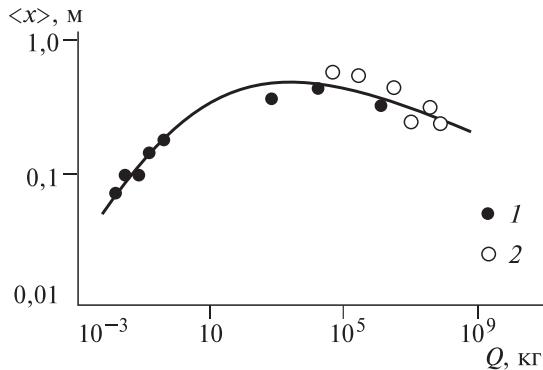


Рис. 2. Средний размер отдельности в среде, разрушенной взрывом.

1 — взрывы химического ВВ; 2 — подземные ядерные взрывы.



Рис. 3. Средний размер отдельности в массиве, разрушенном крупномасштабным взрывом.

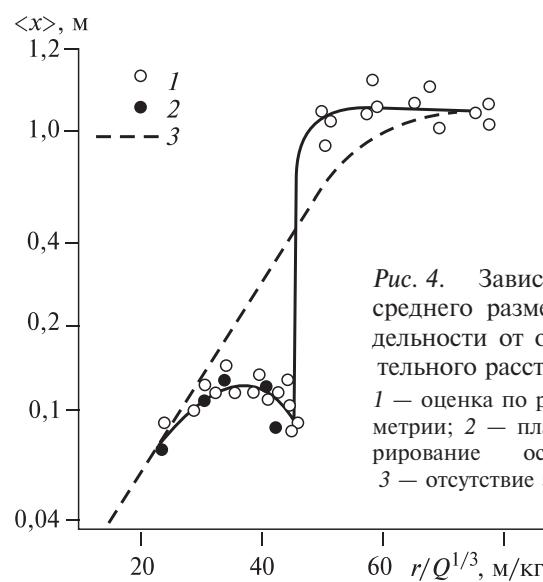


Рис. 4. Зависимость среднего размера отдельности от относительного расстояния.  
1 — оценка по расходометрии; 2 — планиметрирование осколков;  
3 — отсутствие экрана.

Более интенсивное дробление породы при взрыве с экраном достигается за счет частичного использования энергии, непроизводительно расходуемой при деформировании в зажатой среде. Достаточно сказать, что температура среды, расположенной между зарядом и экраном, заметно ниже своих значений при взрыве в монолитной среде. Таким образом, специфические особенности деформирования твердой среды при взрыве с экраном приводят к дополнительному дроблению горной породы по сравнению с экспериментами в сплошном массиве. При этом интенсивность взрывного воздействия в области за экраном в пределах блока снижается.

Рассмотренные особенности и эффекты взрыва достаточно большого масштаба, позволяющие не снижать (сохранять) качество дробления горной массы, были использованы при крупномасштабных взрывах в горном производстве в подземных условиях. Они дополнены анализом взрывов в разных геотехнологиях с увеличенными значениями линии наименьшего сопротивления (ЛНС), что в результате дало возможность выдвинуть и обосновать концепцию развития буровзрывных работ на подземных рудниках [1].

Отечественная и зарубежная практика подземной разработки месторождений средней и большой мощности осуществляется в основном мелко- и среднемасштабной отбойкой, при которых диаметр взрывных скважин не превышает 100 мм, а ЛНС 4 м. При таких параметрах для воспроизведения эффекта крупномасштабного взрыва по объему взрываемой горной массы методами мелко- или среднемасштабной отбойки потребуется большое количество скважин и взрываемых рядов. В результате усложнится производство взрывных работ, что чревато неизбежными отказами из-за: большого количества электродetonаторов с возможностью неноминального разброса по времени их срабатывания; сложности контроля за состоянием ВВ в большом количестве скважин и монтажа взрывной сети; возможности смещения одной части скважины малого диаметра относительно другой в условиях напряженного состояния горного массива при его склонности к горным ударам. Это делает практически невозможным использование мелкомасштабной и проблематичной среднемасштабной отбойки для целей сокращения числа массовых взрывов на предприятии при той же производительности рудника. Практически реализовать идею сокращения числа массовых взрывов можно, лишь увеличивая (укрупняя) масштаб отбойки отбиваемого слоя или части массива, приходящиеся на один заряд, а также размеры самого заряда. Под крупномасштабной отбойкой, являющейся базовой составляющей технологии с сокращенным числом массовых взрывов на предприятии, будем понимать отбойку с увеличенными (крупными) параметрами, осуществляющую зарядами большого диаметра ( $100 < d \leq 1000$  мм), камерными и эквивалентными им по масштабу зарядами различной конфигурации.

Такая постановка требует решения ряда научно-технических задач, одной из которых является определение области применения такой отбойки и средств ее реализации.

Выполненные в ИПКОН РАН исследования крупномасштабной отбойки выявили область ее применения и показали, что имеются убедительные практические данные, подтверждающие в определенных условиях ее эффективность [7]. Под определенными горно-техническими условиями понимается принятый большой размер кондиционного куска ( $600 \div 1000$  мм), наличие на предприятии вибровыпуска, мощного погрузодоставочного и транспортного оборудования с непосредственной скреперной погрузкой руды в вагонетки; увеличенного сечения выпускных выработок; эффективных станков с буровыми снарядами соответствующей для каждого диаметра мощности, позволяющих не снижать линейную скорость при переходе на большие диаметры.

Установлено, что удельный расход ВВ с увеличением ЛНС в сильнотрещиноватых рудах изменяется мало. В этих рудах независимо от того, отбивается ли массив минными зарядами со значительными ЛНС, или скважинными зарядами различных диаметров и ЛНС, гранулометрический состав остается близким к постоянному. Минная отбойка вытеснена скважинной не столько из-за качества дробления руды, а вследствие известных ее недостатков.

Сильнотрещиновые руды при взрыве разрушаются на куски, размеры которых в значительной степени предопределены степенью естественной трещиноватости и мало зависят от расстояния между зарядами, значения ЛНС и удельного расхода ВВ. Такие породы разрушаются с хорошим качеством дробления при увеличенных параметрах буровзрывных работ и являются самыми благоприятными для крупномасштабной отбойки.

В рудах среднетрещиноватых более редкая и неравномерная трещиноватость способствует самому неблагоприятному (неравномерному) распределению энергии в отбиваемом слое. При отбойке с увеличенными параметрами (крупномасштабной) по трещинам оконтуриваются объемы потенци-

ально возможных негабаритов. Хорошее дробление таких руд целесообразно получать с помощью скважин малого диаметра при небольших значениях ЛНС до 1,2–1,5 м.

Нетрещиноватые или малотрещиноватые монолитные руды характеризуются отсутствием экранирующего влияния естественных трещин и благодаря наилучшим волнопроводящим свойствам наиболее “чувствительны” к изменению удельного расхода ВВ на отбойку. Увеличение энергии заряда при взрыве в таких рудах (например, при увеличении диаметра скважин при постоянной сетке скважин) наиболее значимо сказывается на улучшении качества дробления. Это дает основание полагать, что в монолитных рудах при определенных горно-технических условиях крупномасштабная отбойка конкурентоспособна отбойке с уменьшенными параметрами.

В пользу крупномасштабной отбойки на подземных рудниках свидетельствует также опыт буро-взрывных работ на открытых разработках. Практика убедительно показала целесообразность применения скважин большого диаметра на открытых работах. За рубежом при отбойке крепких руд с успехом применяются глубокие скважины диаметров 165–300 мм, для бурения которых используются как погружные перфораторы (давление воздуха 1,05 МПа), так и станки шарошечного бурения.

Таким образом, для крупномасштабной отбойки имеется вполне определенная область. Она требует применения крупных зарядов ВВ, размещаемых или в одинарных скважинах большого диаметра, которые бурить в подземных условиях практически нечем, или в их отдаленном аналоге — камерных (минных) выработках. Максимальный диаметр скважин на отечественных рудниках в подземных условиях на ближайшее время вряд ли превысит 150–200 мм, что соответствует ЛНС не более 4–5 м.

В связи с этим проанализирована современная практика очистной выемки на отечественных и зарубежных подземных рудниках.

Отечественная практика подземной добычи месторождений средней и большой мощности осуществляется в основном в диапазоне, пограничном между мелко- и крупномасштабной отбойкой. Самый распространенный диаметр взрывных скважин составляет 100 мм. Крупномасштабная отбойка представлена минными (камерными) зарядами.

На зарубежных предприятиях традиционно продолжается применение мелкомасштабной отбойки. В то же время появилась такая масса примеров использования крупномасштабной отбойки, что можно говорить о наметившейся тенденции [2]. Общим является то, что внедрение систем массового обрушения с увеличенной высотой подэтажей в сильнотрещиноватых и монолитных рудах позволило улучшить технико-экономические показатели, причем при использовании скважин большого размера объем подготовки в блоке заметно снизился.

Подытоживая зарубежную практику, ранее традиционно базировавшуюся только на мелкомасштабной отбойке, невозможно не прийти к выводу о неизбежности тенденции крупномасштабной отбойки при увеличении параметров отбиваемых блоков. Поэтому современным направлением развития подземной добычи руд за рубежом является: увеличение диаметра взрывных скважин при отбойке сильнотрещиноватых и монолитных руд; концентрация горных работ; использование крупномасштабных систем разработки с применением мощных высокопроизводительных подземных дробильных установок с большими размерами приемного отверстия (например: 1,1 × 1,65 м; 1,217 × 1,524 м; 1,5 × 2,1 м), в том числе передвижных; применение погрузочно-доставочных машин с ковшами многокубовой вместимости и автосамосвалов.

Выявлен также рост технико-экономических показателей на зарубежных рудниках при увеличении диаметра заряда до 200 мм и выше. При этом речь идет не о замене в перспективе мелкомасштабной отбойки на крупномасштабную, а о необходимости расширить практику буровзрывных работ за счет применения крупномасштабной, которую в целом ряде случаев мелкомасштабными способами технически или без экономического ущерба воспроизвести невозможно.

Следует также отметить, что переход на крупномасштабную отбойку происходит в рамках разработки на иностранных фирмах программ, направленных на модернизацию работы рудников в связи с необходимостью добиться существенного роста производительности труда в условиях жесткой конкуренции.

Если решить технический вопрос образования в горном массиве полостей для размещения больших зарядов ВВ, то оказывается, что для идеи резкого сокращения числа массовых взрывов при подземной разработке мощных рудных месторождений имеется достаточная база в виде технологии отбойки с увеличенными (крупными) параметрами.

Поскольку наша промышленность в настоящее время не располагает буровыми станками, позволяющими эффективно бурить скважины большого диаметра в подземных условиях, крупномас-

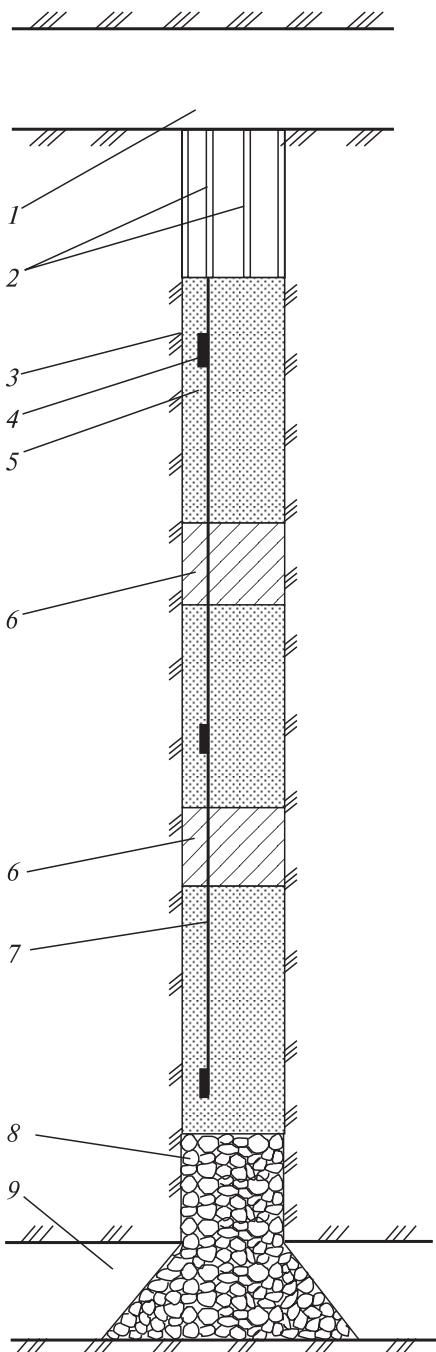


Рис. 5. Схема вертикального концентрированного заряда.

1, 9 — верхняя и нижняя подводящие выработки; 2 — коммутационные скважины; 3 — восстающая выработка; 4 — промежуточный детонатор; 5 — взрывчатое вещество; 6 — инертный промежуток; 7 — ДШ; 8 — породная забойка.

водительность рудника. Анализ результатов крупномасштабных взрывов на указанных рудниках показал, прежде всего, принципиальную и техническую возможность их осуществления и сокращения. Положительный эффект при этом может быть значительно увеличен, если дорогостоящее бурение большого числа пучковых сближенных скважин, имитировавших ВКЗ, заменить более дешевым и ускоренным образованием крупных цилиндрических полостей, проходимых буровзрывным способом. Теоретические предпосылки действия взрыва концентрированных зарядов при такой замене

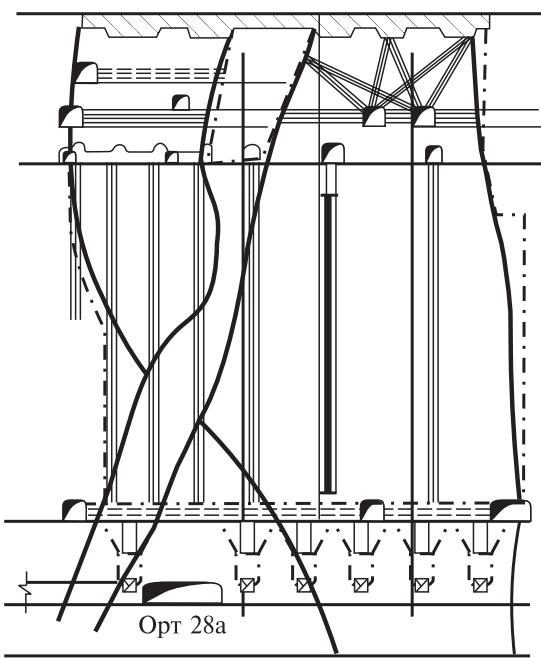


Рис. 6. Разрез очистного блока с вертикальным концентрированным зарядом.

штабную отбойку, помимо минных и пучковых сближенных зарядов, целесообразно осуществлять образованием полостей большого размера (“диаметра”) взрывным способом с последующим формированием в них вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ) [8].

Технология ВКЗ позволяет резко сократить количество буровых скважин, длина которых только в одном блоке может достигать несколько десятков километров, а также объем нарезных работ и коммутацию взрывных сетей (рис. 5, 6). Кроме того, при наличии полостей крупного размера ( $d \leq 1$  м) относительно просто решается вопрос выбора ВВ, так как в этом случае для формирования ВКЗ годятся любые дешевые простейшие взрывчатые составы местного изготовления, помещаемые при обводненном массиве в специальную водонепроницаемую оболочку.

На рудниках Шерегешского, Таштагольского, Абаканского рудоуправлений Горной Шории и Хакасии проводятся экспериментальные и промышленные взрывы с крупномасштабной отбойкой и сокращением числа массовых взрывов вплоть до одного в год (Шерегешское РУ) [9].

В последнем случае ввиду отсутствия в то время опыта образования полостей большого размера и станков для бурения скважин большого диаметра взрывы зарядов ВКЗ в сложных геотехнических условиях общей массой ВВ 700 т имитировали пучками сближенных скважинных зарядов. Было сразу обрушено более 1400 тыс. т руды, что составило почти годовую производительность рудника.

подтвердили их эквивалентность, а экономическая эффективность применения этой технологии, даже с учетом увеличения расхода ВВ на отбойку и стоимости проведения восстающих выработок, составит более 2 руб./т.

Таким образом, одним из главных направлений совершенствования подземной разработки является применение в соответствующих условиях крупномасштабной отбойки через увеличение масштаба взрыва единичного заряда и соответственно выхода руды с 1 м его длины. Это повлечет улучшение технико-экономических показателей и в конечном счете сокращение количества массовых взрывов на горных предприятиях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубецкой К.Н., Малышев Ю.Н., Пучков Л.А. и др. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. — М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. — 478 с.
2. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Закалинский В.М. Новая концепция совершенствования буровзрывных работ на подземных рудниках // Горн. журн. — 2002. — № 9.
3. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. — М.: Недра, 1993. — 319 с.
4. Бронников Д.М., Спивак А.А. Перспективы и возможности применения крупномасштабных взрывов в геотехнологии // ФТПРПИ. — 1983. — № 1. — С. 36–42.
5. Бронников Д.М., Спивак А.А. Некоторые вопросы управляемого дробления горных пород взрывом // ФТПРПИ. — 1981. — № 4. — С. 55–61.
6. Цветков В.М., Сизов И.А., Сырников Н.М. О механизме разрушения хрупкой среды при камуфлетном взрыве // ФТПРПИ. — 1977. — № 6. — С. 48–56.
7. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Закалинский В.М. Анализ методов управления процессами разрушения горных пород взрывом // Горн. журн. — 1995. — № 7. — С. 46–47.
8. Малахов Г.М., Лубенец В.А., Колодезнев А.С. и др. Новый эффективный метод буровзрывных работ // Горн. журн. — 1983. — № 1. — С. 37–40.
9. Еременко А.А., Еременко В.А., Филиппов П.А. и др. Крупномасштабные взрывы на удароопасных месторождениях // Горн. журн. — 2002. — № 1.

**В.В. Адушкин, В.В. Гарнов, Б.Д. Христофоров**

*Институт динамики геосфер РАН, Россия*

### ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЙ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВАХ ВВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЕЙСТВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВЗРЫВОВ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ МАССЫ

В настоящее время становятся все более актуальными исследования, связанные с предсказанием и определением последствий природных и техногенных катастрофических явлений, вызванных взрывом ВВ, газопроводов, вулканов, ударом метеорных тел, комет и т.д. Для экспериментального и математического моделирования процессов взрывного типа используются создаваемые базы данных по известным крупным экспериментальным и аварийным взрывам ВВ массой до 5000 т. Фотография и профиль воронки взрыва тротила массой 5000 т на мягком грунте приведены на рис. 1, 2. При крупных аварийных взрывах возникают зоны локальных поражений экологических (геоэкологических) структур. К таким структурам может быть отнесена приповерхностная область литосферы, с которой непосредственно взаимодействует атмосфера, биосфера и гидросфера.

Оценим на экспериментальном материале, полученном авторами, экологические последствия таких наземных взрывов [1–5]. Основными факторами воздействия на окружающую среду в этом случае являются механическое воздействие на верхний слой грунта, образование воронки и навала, воздействие воздушной ударной волны на прилегающий район, тепловое облучение, а также действие продуктов взрыва и газопылевого облака на грунт и окружающую среду. Рассмотрим их в перечисленном порядке.

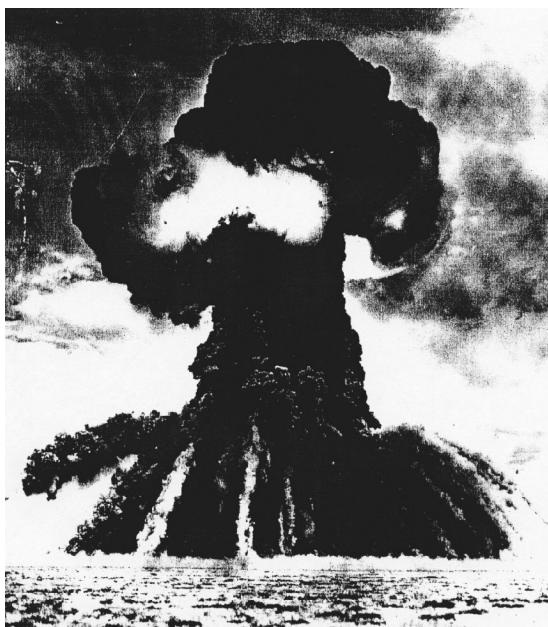


Рис. 1. Наземный взрыв тротила массой 5000 т на мягком грунте.

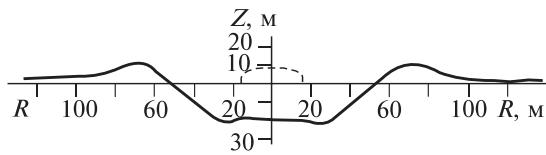


Рис. 2. Профиль воронки 5000 т взрыва.  
Штрихами показан заряд;  $R_B = 55$  м;  $R_H = 70$  м;  $R_F = 360$  м;  
 $R = 1500$  м;  $H_B = 21,4$  м;  $V = 120\,000$  м<sup>3</sup>.

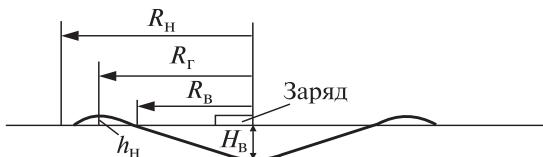


Рис. 3. Характерный профиль воронки взрыва.

В эпицентре взрыва на поверхности верхнего слоя мягкого грунта в зоне наибольшего механического повреждения образуется воронка и навал (рис. 3). Характерные значения радиуса, площади, максимальной глубины и объема воронки определяются эмпирическими формулами:

$$R_B = 3,4 q^{1/3}, \text{ м}; H_B = 1,6 q^{1/3}, \text{ м}; S = 40 q^{2/3}, \text{ м}^2; V = 26 q, \text{ м}^3,$$

где  $q$  — тротиловый эквивалент взрыва в тоннах. Поверхность, которая не может быть восстановлена без специальной рекультивации, оценивается как площадь, ограниченная навалом грунта:  $S_H = 1000 q^{2/3}, \text{ м}^2$ . Образование воронок приводит к разрушению верхнего слоя грунта, изменению рельефа местности и нарушению верхних водоподстилающих слоев. Под воронкой происходит разрушение массива в значительных объемах. Если рекультивация местности после взрыва не проводится, то со временем воронка может обводниться с образованием устойчивого водоема. Сезонные обводнения способствуют обрушению бортов и сносу грунта с образованием оврагов, особенно при взрывах на склонах.

При падении больших кусков грунта, выброшенного из воронки, образуются вторичные воронки, соизмеримые по размеру с центральной, что увеличивает площадь разрушения. Разрушение верхнего слоя грунта и изменение местного рельефа может быть отнесено к нарушению геоэкологического характера. В воронке и навале обычно отмечаются повышенные содержания абсорбированных нитратных соединений. Через год это приводит к сильному зарастанию таких участков растительными формами, не типичными для данной местности. На второй год из-за сезонного разрушения мягкого кускового материала, выстилающего воронку, ее поверхность частично выравнивается. Высота навала и глубина уменьшаются на 20–30 %. Далее идут участки, для которых может понадобиться частичная рекультивация. Обычно они располагаются с подветренной стороны по следу газопылевого облака.

За границей навала прослеживается действие воздушной ударной волны (ВУВ), которая при своем прохождении воздействует на поверхность грунта, создавая избыточное давление и скоростной напор воздуха. На образование ВУВ расходуется до 70 % энергии контактного взрыва. Параметры ударной волны рассчитываются по эмпирическим формулам М.А. Садовского [6] для зависимости приращения максимального давления  $\Delta P$ , длительности  $t$  и удельного импульса  $i$  положительной фазы волны от расстояния  $R$  и тротилового эквивалента  $q$  при взрыве в диапазоне  $1 \leq (R/q^{1/3}) \leq 100$ , м/кг<sup>1/3</sup>:

$$\Delta P = 0,095/(R/q^{1/3}) + 0,39/(R/q^{1/3})^2 + 1,3/(R/q^{1/3})^3, \text{ МПа};$$

$$t = 1,7q^{1/6} R^{1/2}, \text{ с}; i = 5,4 \cdot 10^{-4} q^{2/3}/R, \text{ МПа} \cdot \text{с}.$$

Площадь зоны остаточного воздействия, определяемая границей избыточного давления  $\Delta P = 0,004$  МПа, составляет  $S = 2,5 \cdot 10^5 q^{2/3}, \text{ м}^2$ . Воздействие ударной волны на участок с лесом проявляется в повале деревьев, срыве крон и листвьев. Зона необратимых повреждений лесного масси-

**Характерные повреждения некоторых природных объектов при взрыве тротила массой 1000 т**

Действие взрыва	$R$ , м	$R^0$ , м/кг $^{1/3}$	$\Delta P$ , МПа	$i$ , МПа · с	$t$ , с
Граница сплошного навала	115	1,15	1,24	0,047	0,182
Сильное повреждение лесного массива, повал деревьев	120	1,2	1,102	0,045	0,186
Наклон деревьев на 30–40°. Обрыв листьев и сучьев	150	1,5	0,621	0,036	0,208
Обугливание древесины	235	2,35	0,211	0,023	0,261
Повал отдельных деревьев. Уплотнение снежного покрова на 80–90 %, гибель биообъектов	600	6,0	0,033	0,009	0,416
Разрушение среды обитания	800	8,0	0,021	0,0068	0,481
Разрушение среды обитания биообъектов на деревьях	2800	28	0,004	0,0019	0,90

ва лежит в границах с избыточным давлением  $\Delta P = 0,03$  МПа при скорости воздушного потока свыше  $40–50$  м/с на площади до  $S = 1,3 \cdot 10^4 q^{2/3}$ , м $^2$ . Избыточное давление 0,02–0,03 МПа является предельным для многих биологических объектов.

Тепловое воздействие взрыва определяется излучением и теплообменом с нагретым ударной волной воздухом и продуктами взрыва. При плотности энергии излучения не менее 40 Дж/см $^2$  могут загораться различные легковоспламеняющиеся материалы. Подъем пыли уменьшает вероятность образования очагов возгорания из-за экранировки потока излучения. Площадь зоны с наибольшей вероятностью возгорания сухого торфяника и хвойного сухостоя по оценкам составляет  $S = 1,3 \cdot 10^3 q^{2/3}$ , м $^2$ .

Образовавшееся при взрыве газопылевое облако, объем которого возрастает со временем, перемещается по ветру. Выпадение продуктов взрыва, крупных частиц и пыли происходит на значительном расстоянии в направлении движения. С наветренной стороны выпадение твердых частиц отмечается на расстояние  $R = (10–20) R_b$ . Толщина слоя осадков на этих границах составляет 1,0–1,5 мм. Вдоль земли может распространяться базисная волна, пыль от которой осаждается до расстояний (20–30)  $R_b$  от центра взрыва. Газовое облако на поверхности распространяется на площади  $S = 1,4 \cdot 10^3 q^{2/3}$ , м $^2$  [5].

Характерный состав продуктов взрыва тротила содержит диоксид углерода CO<sub>2</sub>, оксид углерода CO, азот N<sub>2</sub>, углерод C, оксиды азота NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, воду и ряд малых составляющих. Часть этих продуктов адсорбируется в грунте. Химический контроль воздуха, начиная от воронки и по следу облака, показывает наличие оксидов азота, углерода, амиака NH<sub>3</sub> и следов синильной кислоты HCN. Возможно появление участков с повышенной концентрацией продуктов взрыва из-за их затекания в складки местности. В таблице приведены возможные относительные границы поражения природных объектов в зависимости от избыточного давления, возникающего при взрыве. Также показаны абсолютные значения граничных расстояний для экспериментального взрыва тротила массой  $q = 1000$  т.

Особенность одиночных взрывов состоит в том, что максимальное воздействие на экологию района происходит на начальном периоде в локализованном районе и последствия взрыва могут проявиться со временем. Дальнейшее изучение экологического состояния в районе взрыва путем экологического мониторинга дает возможность уточнить отдаленные экологические последствия, что в конечном итоге позволит более полно представить экологическое состояние прилегающих районов. Результаты многолетних наблюдений районов известных крупномасштабных взрывов свидетельствуют о том, что развития каких-либо отдаленных негативных последствий после рекультивации района не наблюдается. Однако необходимо продолжать создание банков данных по аварийным взрывам и их мониторингу с геоэкологической направленностью, что позволит дополнить имеющиеся банки данных по взрывам.

Работа поддержана РФФИ, грант № 02-05-64134.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Адушкин В.В., Гарнов В.В., Дивнов И.И. и др. Создание базы экспериментальных данных по природным и техногенным катастрофическим явлениям взрывного типа с выбросом продуктов в атмосферу // Динамические процессы в геосферах под действием внутренних и внешних потоков энергии и вещества (геофизика сильных возмущений). — М.: ИДГ РАН, 1998. — С. 218–226.
- Адушкин В.В., Гарнов В.В., Христофоров Б.Д. Оценка экологических последствий при одновременном уничтожении большого количества боеприпасов // Безопасность труда в пром-сти. — 1996. — № 12. — С. 15–17.
- Адушкин В.В., Гарнов В.В., Христофоров Б.Д. Экологическая экспертиза при подготовке и проведении крупномасштабных взрывов // Безопасность труда в пром-сти. — 1998. — № 2. — С. 12–15.

4. Адушкин В.В., Гарнов В.В., Христофоров Б.Д. Крупномасштабный экспериментальный взрыв как модель аварийного взрыва // Безопасность труда в пром-сти. — 1999. — № 10. — С. 21–23.
5. Гарнов В.В., Перник Л.М. Особенности распространения газового облака при наземных взрывах конденсированных взрывчатых веществ // Безопасность труда в пром-сти. — 2000. — № 4. — С. 30–32.
6. Садовский М.А. Механическое действие воздушных ударных волн взрыва по данным экспериментальных исследований // Механическое действие взрыва. — М.: ИДГ РАН, 1994. — С. 7–55.

## К.К. Шведов

*Институт проблем химической физики РАН, Россия*

### ПРОЦЕССЫ ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА ГЕТЕРОГЕННЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Эффективное и безопасное использование энергии взрывчатых веществ (ВВ) в промышленности основывается на знании и учете фундаментальных свойств и характеристик взрывных процессов, создающихся в них целенаправленно или возникающих при случайных воздействиях. Основным процессом, обеспечивающим наиболее полное выделение энергии, максимальные параметры и минимальное содержание экологически вредных веществ при взрыве, является детонация. В режиме детонации взрывной процесс распространяется стационарно на любую длину заряда. Помимо детонации в определенных условиях во всех гетерогенных конденсированных ВВ, как индивидуальных, так и смесевых, реализуются самораспространяющиеся на значительные расстояния квазистационарные и нестационарные взрывные процессы с существенно пониженным по сравнению с детонацией энерговыделением. Общим для детонации и самораспространяющихся взрывных процессов (СВП) является сверхзвуковая скорость распространения и ведущая роль ударного фронта в инициировании химического разложения вещества. Поэтому СВП часто относят к детонации, что приводит к неоднозначной трактовке существа процессов и ошибкам в оценке их параметров.

Обычно для характеристики взрывных процессов в гетерогенных ВВ используется легко определяемая в эксперименте зависимость скорости фронта ( $D$ ) от диаметра заряда ( $d$ ) на зарядах длиной 5–10 калибров. Многообразие таких зависимостей для типичных ВВ с количественными данными по скорости для зарядов аммиачно-селитренных ВВ насыпной плотности показано на рис. 1. Сплошная кривая в диапазоне диаметров заряда от критического ( $d_k$ ) до предельного ( $d_n$ ) описывает режимы неидеальной, а при  $d > d_n$ , как принято считать, “идеальной” детонации. Выход на плато зависимости  $D(d)$  связывается с полным выделением химической энергии ВВ в зоне реакции детонационной волны. Штриховые кривые характеризуют возможные СВП, наиболее устойчивые из которых при скоростях фронта 1–2 км/с часто называют “низкоскоростная детонация” (НСД) или “детонация с малой скоростью” [1, 2]. Формальное описание точек любой штриховой и сплошной кривой одной зависимостью приводит к многообразию в виде зависимостей, требующих соответствующей интерпретации, и произволу в определении критического диаметра и параметров детонации, параметров и области существования СВП. Переход из одного режима к другому связан с изменением механизма разложения вещества в узкой области, характерных для заданной пористости заряда давлений  $p^x$  вблизи  $d_k$ . Выше давлений  $p^x$  (режимы детонации) происходит объемное разложение вещества за ударным фронтом, а ниже — частичное разложение в “горячих” точках [3].

Из рис. 1 видно, что вертикальная прямая  $d = d_k$  на диаграмме  $D - d$  является нижней границей режимов детонации и верхней границей для СВП. Так как в настоящее время нет теории пределов детонации, а  $d_k$  сильно зависит не только от химического состава ВВ, но и от других факторов (размер и качество частиц ВВ, наличие и свойства оболочки и т.п.), то даже экспериментальное определение этой границы представляет значительные трудности. Нет никаких подходов и для установления нижней границы существования СВП по диаметру заряда. Наиболее подходящим параметром для определения области существования СВП является скорость фронта. Известно, что  $D_k$  для ВВ заданного химического состава и плотности не зависит от размера частиц, наличия и свойств оболочки. В частности, для современных аммиачно-селитренных зарядов насыпной плотности  $D_k \sim 3,0$  км/с [4–6], как

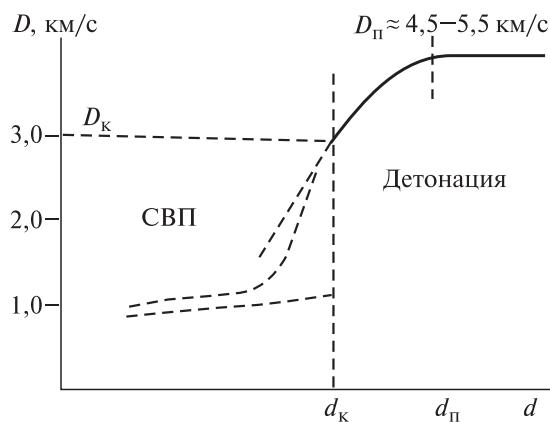


Рис. 1. Качественный вид зависимостей скорости фронта взрывных процессов от диаметра заряда в гетерогенных ВВ.

На рис. 2 приведена зависимость скорости фронта от диаметра заряда аммонита 6ЖВ (партия 1) по [5] вблизи  $d_k$  (черные и светлые точки получены в различных сериях экспериментов). Виден скачок плавной зависимости  $D(d)$  при  $d = 16–20$  мм. Определение скорости фронта по длине заряда показало, что нижняя ветвь (две точки) зависимости  $D(d)$  относится к затухающим СВП, а значения критического диаметра и критической скорости детонации составляют 18–20 мм и 3,0–3,1 км/с соответственно. Заметное затухание квазистационарных процессов вблизи  $d_k$  детонации удается обнаружить на зарядах длиной 20 калибров и более.

На рис. 3 представлены данные по зависимости скорости фронта от длины заряда игданита различного диаметра длиной до 8 м [6]. Видно, что СВП со скоростями фронта меньше 3,0 км/с плавно затухают при использованных диаметрах заряда. Стационарный (детонационный) процесс со скоростью фронта около 3,0 км/с наблюдается только в зарядах  $d = 200$  мм для обработанного ультразвуком вещества (кривая 1). Полученные нами данные по зависимости скорости фронта от диаметра заряда эмульсионного ВВ плотностью 1,22 г/см<sup>3</sup> на зарядах в картонной оболочке длиной 5–6 калибров и результаты исследования стационарности процесса по длине заряда вблизи критического диаметра приведены на рис. 4. Из них следует, что режимам детонации соответствует верхняя часть кривой начиная с  $d = 35$  мм и выше. Формальное представление данных  $D(d)$ , полученных на коротких зарядах, без исследований стационарности, не отражает существа взрывных процессов и приводит в данном случае к занижению  $d_k$  почти в 2 раза (35 и 18 мм соответственно) и  $D_k$  приблизительно на 1,4 км/с.

Общий вывод состоит в том, что при отсутствии теории неидеальной детонации, из которой следовал бы теоретически обоснованный вид зависимости  $D(d)$ , невозможно отличить СВП от детонации без дополнительных экспериментальных исследований стационарности взрывных процессов вблизи  $d_k$ . По этой же причине и в силу специфики механизма разложения вещества систем

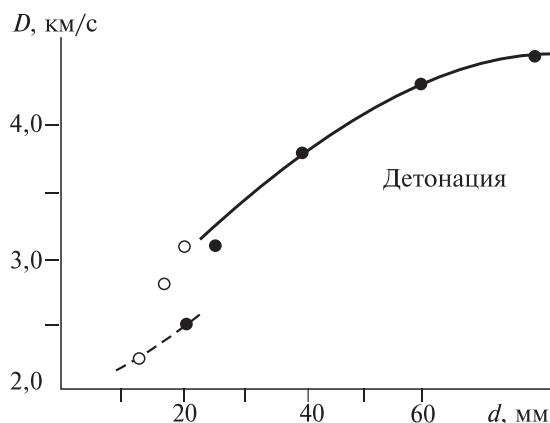


Рис. 2. Зависимость скорости фронта взрывных процессов аммонита 6ЖВ насыпной плотности от диаметра заряда.

показано на рис. 1. Режимы со скоростью фронта меньше  $D_k$ , очевидно, относятся к СВП. Отличить детонацию от СВП для любого ВВ экспериментально в настоящее время можно только путем установления стационарности распространения фронта процесса на зарядах длиной в десятки калибров вблизи  $d_k$  [5]. Для исчерпывающей характеристики детонационных процессов необходимо иметь данные по зависимости параметров от диаметра заряда в широкой области диаметров, превышающих критический в несколько раз [4]. При этом экстраполяция зависимости  $D(d)$ , полученной в узком диапазоне диаметров заряда, к бесконечному диаметру может приводить к существенному завышению  $D_k$  и других параметров.

Рассмотрим в качестве примера некоторые результаты экспериментальных исследований детонации и СВП в современных промышленных ВВ и следствия из них.

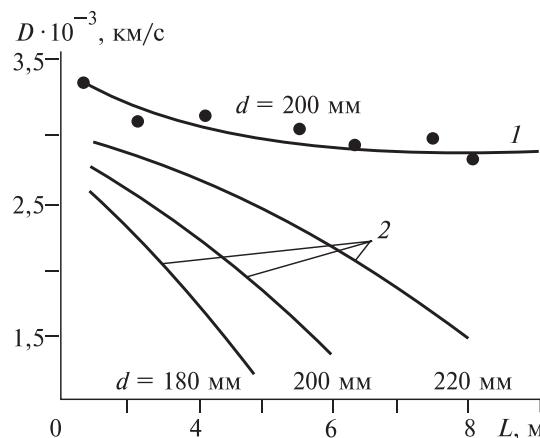


Рис. 3. Зависимость скорости фронта ( $D$ ) от расстояния ( $L$ ) приготовленного различными способами игданита.  
1 — с использованием ультразвука; 2 — без ультразвуковой обработки.

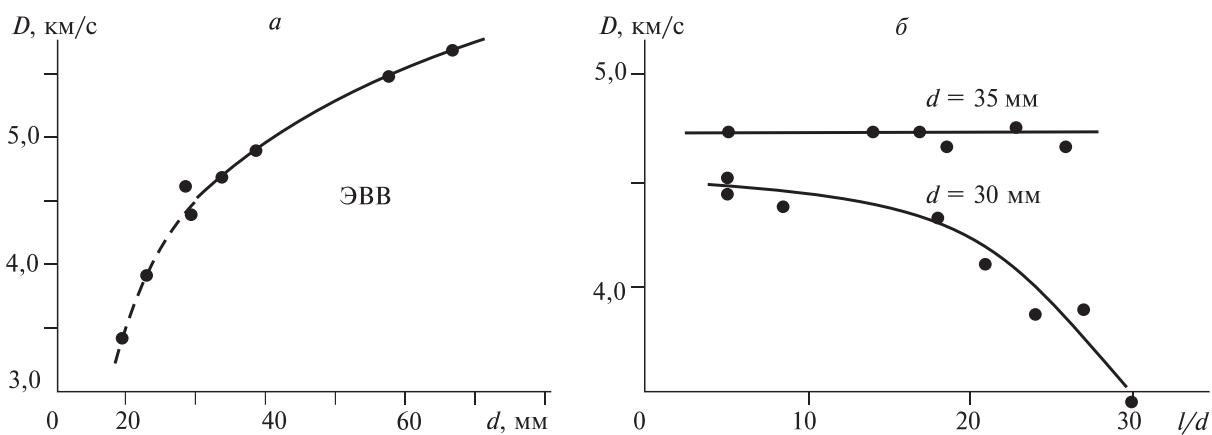


Рис. 4. Зависимость скорости фронта от диаметра (а) и длины заряда при  $d = 35$  и 30 мм (б) эмульсионного ВВ.

окислитель — горючее в зоне реакции детонационной волны по виду зависимости  $D(d)$  в области  $d > d_{\text{п}}$ , в частности по выходу ее на плато, невозможно определить, является режим детонации идеальным или нет.

Как следует из ряда работ последнего времени, принципиальное отличие смесевых ВВ типа окислитель — горючее от индивидуальных состоит в том, что  $D_{\text{п}}$  последних не зависит от размера частиц ВВ, а в смесевых одинакового химического состава — от размера частиц ВВ [7]. Для примера на рис. 5 показаны зависимости  $D(d)$  для аммонита 6ЖВ и гранулита 79/21 плотностью 1,0 г/см<sup>3</sup>, полученные в широком диапазоне диаметров заряда, превышающих критический в несколько раз, а также в зарядах из толстостенных стальных труб и в породном окружении [4]. Верхние две кривые (1, 2) — аммонит 6ЖВ, прямая 4 и кривая 5 — граммонит 79/21 в зарядах из стальных труб и породном окружении, а 7–8 — в оболочках из картона. В обоих случаях видно наличие плато зависимости  $D(d)$ , однако  $D_{\text{п}}$  граммонита (4,3 км/с) на 1,0 км/с ниже аммонита 6ЖВ и близко к расчетному в предположении аддитивного разложения компонентов ( $D = 4,4$  км/с, прямая 3). Оценки показывают, что скорость детонации аммонита 6ЖВ при полном разложении должна быть приблизительно на 1,0 км/с выше экспериментально наблюдаемого значения. Такое несоответствие связано, видимо, с неполным выделением энергии в зоне реакции детонационной волны и в этом случае. Следует обратить внимание на то, что  $D_{\text{п}}$  граммонита 79/21 и аммонита 6ЖВ практически совпадают и составляют 3,1–3,2 км/с, а критические диаметры детонации отличаются в 5–6 раз.

На рис. 6 приведены данные по зависимости скорости детонации смеси нитрат аммония (НА)/дизельное топливо (ДТ), 94/6  $\rho_0 = 1,0$  г/см на пористом НА в зарядах в стальных трубах (кривая 1) и гранулированном НА в стальных трубах, помещенных в бетонные блоки (кривая 2) по [4]. Отмечено наличие плато зависимости  $D(d)$  на кривой 1. Оценки показывают, что максимальному значению скорости соответствует лишь 50%-е выделение энергии от полной, а вблизи критического диаметра оно

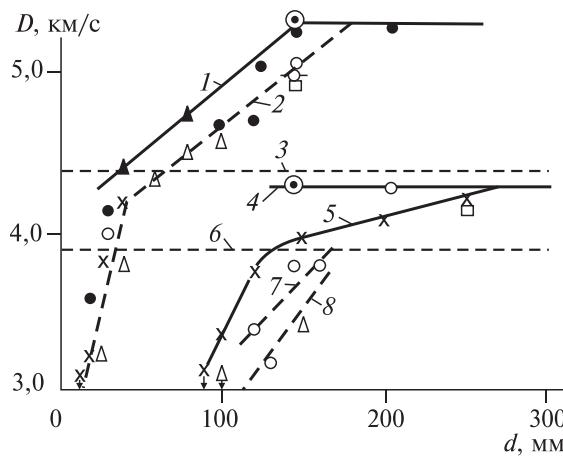


Рис. 5. Зависимость скорости детонации аммонита 6ЖВ (кривые 1, 2) и граммонита 79/21 (3–8) от диаметра заряда.

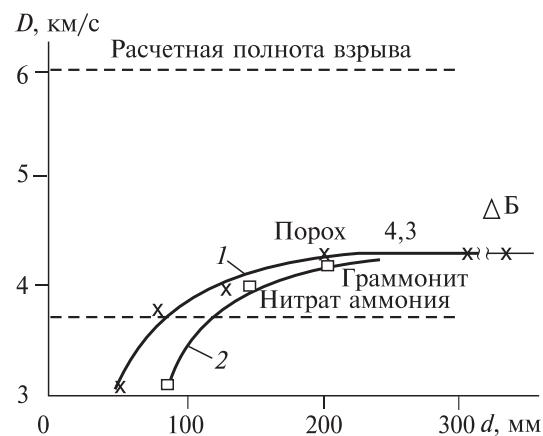


Рис. 6. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда смесей НА/ДТ, 94/6 на различных сортах НА.

составляет около 30 %. Увеличение диаметра заряда до 5 м (точка Б на рис. 6), по данным американских исследователей, также не приводит к существенному росту скорости фронта.

Приведенные данные свидетельствуют, что увеличением диаметра заряда в гетерогенных смесевых ВВ окислитель — горючее нельзя достигнуть “идеального” режима детонации. Очевидно, что экстраполяция зависимости  $D(d)$  к  $d \rightarrow \infty$  для достижения “идеальной” скорости детонации таких систем принципиально не обоснована. Имеются факторы, которые приводят к неполному тепловыделению при детонации в области  $d > d_n$ . Причины зависимости предельных (максимальных) параметров детонации смесей окислитель — горючее от размера частиц и их явного несоответствия оценкам на полное тепловыделение связаны, видимо, с особенностями протекания физико-химических процессов превращения вещества в зоне реакции и в настоящее время неясны. Возможно, ими являются затруднение перемешивания и диффузии компонентов или продуктов их разложения при высоких давлениях и малых временах превращения в зоне реакции детонационной волны.

При уменьшении диаметра заряда ниже предельного появляются также потери энергии, связанные с влиянием боковых волн разрежения, как и в индивидуальных мощных ВВ, в соответствии с принципом Ю.Б. Харитона. Это приводит к еще большему снижению параметров детонации, полезного механического действия взрыва и увеличению вредного экологического воздействия взрыва на окружающую среду. Хорошо известно, что даже для аммонита 6ЖВ в зависимости от условий взрыва наблюдается значительное выделение оксидов азота и оксида углерода. Содержание условной окиси углерода может достигать 60–190 л/кг [8]. Очевидно, что в случае реализации вместо детонации СВП все указанные отрицательные эффекты резко возрастут.

В табл. 1 приведены результаты исследований загрязнения окружающего заряд грунта продуктами неполного разложения аммиачно-селитренных ВВ при различных взрывных процессах [7]. В опытах использовали одинаковые заряды в картонных оболочках диаметром 60 и длиной 200 мм, окруженные слоем кварцевого песка толщиной 40 мм. Заряды взрывали в стальной камере объемом 6 м<sup>3</sup>. В каждом опыте определяли скорость фронта по длине заряда и производили анализ проб собранного грунта на содержание нитрата аммония (иона  $\text{NH}_4^+$ ) формальдегидным методом. Видно, что при распространении СВП со скоростями фронта 1,5–2,5 км/с происходит значительное (от 3 до 7 % от массы НА в исходном заряде) загрязнение им окружающего заряд грунта.

В аналогичных по постановке экспериментах в калориметрической бомбе со свободно подвешенными зарядами аммонита 88/12 диаметром 20 мм оксидов азота не наблюдается, тогда как для окруженного песком заряда их образуется около 50 л/кг [9]. Скорость фронта в этих опытах не определяли.

Сильное влияние условий взрыва аммонита в зарядах, близких к критическому диаметру, на

Т а б л и ц а 1

Состав	Плотность заряда, г/см <sup>3</sup>	$D$ , км/с ( $l/d$ )	Содержание НА		...
			г/кг	% к исходному	
ТНТ	0,97	4,96 (1,62) 4,81 (2,55)	0	0	
6ЖВ	1,08	4,17 (1,62) 4,21 (2,55)	Следы	0	
Гр. 79/21	1,0	1,6 (1,6) 1,52 (2,5)	2,54	5,25	
Гр. АС-8	1,1	2,4 (1,85) 2,15 (2,45)	1,62	2,95	
ИГД	1,0	2,13 (1,14)	1,93	3,9	
НА, $\delta < 1$ мм		2,08 (1,77)			
ДТ – 6 %		1,75 (2,4)			
ИГД	1,0	2,37 (1,17)	4,28	7,25	
НА, $\delta < 1$ мм		2,64 (1,7)			
ДТ – 2 %		2,60 (2,3)			

ным размещением компонентов [8]. Все показатели механического действия взрыва оказались ниже расчетных на полное выделение энергии, а бурые облака от оксидов азота, заполнившие весь каньон реки, рассеялись лишь спустя 3 ч. Поэтому для достижения максимального полезного эффекта и минимального вредного экологического воздействия взрыва на окружающую среду необходимо использовать смеси с тонкодисперсными компонентами при близких к  $d_{\text{п}}$  диаметрах заряда. Основанная на энергетическом критерии эффективности концепция замены мелкодисперсных смесевых ВВ окислитель — горючее на гранулированные с низкой чувствительностью и детонационной способностью не оправдала себя. Она не учитывает влияние на тепловыделение специфических условий, при которых происходит разложение вещества при детонации.

Реальным и легкоопределяемым в лабораторно-полигонных условиях показателем реализации химической энергии в зоне реакции детонационной волны является скорость фронта и другие параметры. Для характеристики процесса детонации любого ВВ необходимо определять хотя бы критические и предельные значения диаметров и скоростей фронта для зарядов без оболочки.

Для аттестации ВВ необходимо знать и характеристики СВП, так как эти процессы лежат в основе оценки чувствительности и взрывоопасности. Параметры фронта таких процессов, как отмечалось ранее, в несколько раз ниже максимальных детонаций, но они часто возникают при  $d < d_{\text{k}}$  детонации и при  $d > d_{\text{k}}$  при слабом инициировании и переходе горения в детонацию. Основная опасность СВП состоит в вовлечении больших масс вещества в процесс взрыва для ВВ с большим критическим диаметром детонации и непредсказуемости появления при случайных воздействиях. Такие процессы могут иметь место и в веществах, не способных к детонации, и составлять их относительную взрывоопасность.

Принципиальный вопрос об отнесении того или иного вещества к взрывчатому в рекомендованной экспертами ООН системе испытаний по перевозке опасных грузов решается на основе количественных показателей СВП, которые отнесены к детонации без достаточных на то оснований [10]. Это видно на примере испытаний нескольких сортов НА насыпной плотности. Их проводили по стандартной методике на зарядах в стальных трубах внутренним диаметром 50 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной 1160 мм. В качестве боевика использовали заряды мощных ВВ массой 200 г длиной 60 мм. Полученные в таких условиях значения скорости фронта во второй от боевика половине заряда для НА плотностью 0,83; 0,97 и 0,9 (“взрывчатый”) г/см<sup>3</sup> составили 1,4; 0 и 4,6 км/с соответственно. Из этих данных следует, что первый сорт НА является взрывчатым, а второй — нет. Такое деление крайне условное и отражает лишь недостаточную обоснованность метода испытаний. По химической природе все выбранные сорта НА являются взрывчатыми, но диаметр трубы, по крайней мере для первых двух сортов, меньше критического для детонации. В них возникают опасные сами по себе СВП, которые затухают на различных расстояниях от инициатора.

Очевидно, что научно обоснованная система оценки безопасности взрывчатых веществ с низкой детонационной способностью или взрывоопасных веществ, не способных к детонации, должна строиться на количественной оценке риска возникновения и параметров СВП. Она может быть основой для разработки системы сертификации большой группы взрывоопасных веществ между мощными вторичными ВВ и совершенно невзрывоопасными веществами.

Решение проблемы повышения эффективности, безопасности и охраны окружающей среды при использовании энергии взрыва современных ВВ в промышленности с учетом знания и свойств взрывных процессов не стимулируется сложившейся нормативно-правовой базой.

Анализ ТУ на ВВ промышленного назначения нового поколения показывает, что в них нет ни одного контролируемого показателя не только СВП, но и режимов детонации (табл. 2). Достоверные значения двух основных контролируемых показателей (бризантность, работоспособность), которые косвенно характеризуют процесс детонации, при переходе от аммонита БЖВ к его аналогу граммиту 79/21 получить стандартными методами не удается. В числе неконтролируемых характеристик этого процесса обычно приводятся значения  $d_{\text{k}}$  и скорости фронта. В значениях  $d_{\text{k}}$  для одних и тех же ВВ наблюдается сильный разброс из-за несовершенства методов определения [11]. Данные по скорости детонации часто приводятся без указания диаметра заряда и могут относиться к СВП, как видно из табл. 2 на примере игданита.

В ТУ совершенно отсутствуют показатели взрывоопасности, так как нулевое значение частоты взрыва в стандартных испытаниях на копре скорее отражает непригодность этого метода, чем реальную взрывоопасность ВВ нового поколения и индивидуального нитрата аммония. Расчет смесевых ВВ на основе НА на нулевой кислородный баланс не может служить гарантией их экологической

Таблица 2

Контролируемый показатель	Норма для марок ВВ				
	6ЖВ	Гр. 79/21	ИГД	ГЛТ-20	Пор. М-4А
Бризантность, мм	14–16	4–5 20–25	— 15–20	—	—
Работоспособность, см <sup>3</sup>	360–380	360–370	320–330	—	—
Полнота детонации заряда диаметром, мм	—	Полная 80	Полная (А-6) 150 Т-400	—	Полная 100 ± 5
$Q$ , кДж/кг	4330	4330	3760	4060	3630
$d_k$ , мм	10–13	40–60 100–120	120–150 160–200	120–150	20–30
$D$ , км/с	3,6–4,8	3,2–4,0	2,2–2,8	4,0–4,5	4,6–5,1
Чувствительность к удару, % ГОСТ 4545-80, $pl$	16–32	12–24	0	0	0 (БК)

безопасности при взрывах. Для решения указанных проблем, включая проблему обеспечения безопасности оборота огромных масс нитрата аммония, необходимы дальнейшие научные исследования взрывных процессов, создание новой нормативно-правовой базы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Беляев А.Ф., Боболев В.К., Коротков А.И., Сулимов А.А., Чуйко С.В. Переход горения конденсированных систем во взрыв. — М.: Наука, 1973.
- Дремин А.Н., Шведов К.К., Колдунов С.А. О стационарности “детонации с малой скоростью” в твердых порошкообразных ВВ // ФГВ. — 1973. — № 3. — С. 427–428.
- Шведов К.К., Лавров В.В. Физические модели процесса развития ударной волны до детонационной в неоднородных конденсированных ВВ // Хим. физика. — 1998. — № 3. — С. 74–80.
- Шведов К.К., Пацюк В.В. Предельный диаметр и полнота детонационного разложения грубодисперсных промышленных взрывчатых веществ // Хим. физика. — 1995. — Т. 14, № 2–3. — С. 3–13.
- Лавров В.В., Афанасенков А.Н., Шведов К.К. О влиянии длины заряда на экспериментальное определение критического диаметра и критической скорости детонации // Химическая физика процессов горения и взрыва: Материалы XI симп. по горению и взрыву. — Черноголовка: ИПХФ РАН, 1996. — Т. 2. — С. 56.
- Даниленко В.А. О влиянии ультразвука на устойчивость детонации и другие ее характеристики // V. Symp. Explosive working of metals sprengbearbeitung von metallen vybucnove zpracovani kovu. — Gottwaldov, 12–14 Okt. 1982. — Р. 344–349.
- Шведов К.К. Некоторые вопросы детонации твердых неоднородных ВВ // Химическая физика процессов горения и взрыва: Тез. докл. Х симп. по горению и взрыву. Детонация. — Черноголовка: ИХФЧ РАН, 1992. — С. 14–21.
- Шведов К.К. О полноте и экологической безопасности взрыва низкочувствительных промышленных ВВ // Энергостр-во. — М.: Энергоатомиздат, 1993. — № 6. — С. 51–57.
- Аппин А.Я. О взрывном разложении тетрила // Докл. АН СССР. — М., 1939. — Т. 23. — С. 922.
- Рекомендации по перевозке опасных грузов. Испытания и критерии. — Нью-Йорк: Изд. ООН, 1987. — С. 3.
- Лавров В.В., Афанасенков А.Н., Кукиб Б.Н., Шведов К.К. Метод определения критического диаметра и критической скорости детонации промышленных ВВ // Горн. журн. — 1998. — № 3. — С. 38–39.

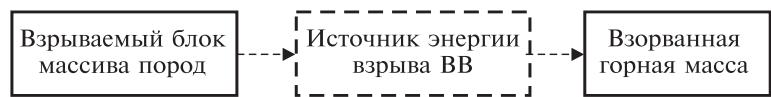
### Б.Р. Ракишев

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Республика Казахстан

### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ ПОРОД К ВЫЕМКЕ

Буровзрывной способ остается доминирующим в процессе подготовки горных пород к выемке [1, 2]. Обеспечение высокопроизводительных горных машин на открытых разработках необходимым объемом взорванной горной массы с гарантированной степенью дробления, связности может быть достигнуто только на основе научно обоснованного выбора параметров расположения источника

Рис. 1. Структурная схема преобразования массива пород.



энергии взрыва взрывчатого вещества (ВВ) во взрываемом блоке массива. Они должны наилучшим образом соответствовать заданным природным свойствам массива пород [2].

Для выделения основных параметров взаимодействующих элементов рассматриваемой системы структурную схему преобразования массива пород под действием энергии взрыва ВВ во взорванную горную массу можно представить в виде рис. 1.

Основные параметры взрываемого блока массива пород: его геометрические размеры ( $L$ ,  $B$ ,  $H$ ), структурные характеристики (трещиноватость, гранулометрический состав естественных отдельностей в массиве  $[p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)]$ , средний диаметр естественных отдельностей  $d_e$ ), упругие (плотность  $\rho$ , скорость звука  $c$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ ) и прочностные (предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$ , предел прочности на растяжение  $\sigma_p$ ) свойства пород блока, прочностная характеристика среды в условиях взрывного нагружения  $P_c$ .

Важнейшие параметры источника энергии взрыва ВВ: пространственное размещение зарядов ВВ во взрываемом блоке (диаметр  $d_0$  и длина  $l_1$  заряда в скважине, длина заряда  $h$  над уровнем подошвы уступа, длина незаряженной части скважины  $l_2$ , длина перебора  $l_n$ , длина воздушного промежутка  $h_{в.п.}$ , линия сопротивления по подошве уступа  $W$ , расстояние между скважинами  $a$ , расстояние между рядами скважин  $a_p$ ) (рис. 2), характеристики ВВ (плотность  $\rho_{вв}$ , скорость детонации  $D$ , начальное давление продуктов детонации (ПД)  $P_h$ , масса заряда  $m$  в скважине), схема и время замедления между разновременно взрываемыми группами зарядов ВВ  $\tau$ .

Основные характеристики взорванной горной массы: ее геометрические размеры (ширина раз渲ала  $B_p$ , ширина отброшенной части раз渲ала  $B_o$ , высота раз渲ала в месте его пересечения с линией откоса  $H_o$ , высота раз渲ала у линии отрыва  $H_1$ , максимальная высота раз渲ала  $H_p$ ), гранулометрический состав  $[p'(x_1), p'(x_2), \dots, p'(x_n)]$ , коэффициент разрыхления  $k_p$  пород в раз渲але, размещение фиксированных элементов блока  $G(y_k, z_k)$  в раз渲але.

Взаимоувязка между перечисленными параметрами взрываемого блока массива пород, источника энергии взрыва ВВ и взорванной горной массы может быть установлена на основе использования модели разрушения горных пород, предложенной Г.И. Покровским [3], развитой В.Н. Родионовым [4] и нами [2].

В соответствии с этой моделью разрушение массива крепких горных пород и образование раз渲ала при взрыве скважинных зарядов можно разделить схематически на три стадии [3, 4].

На первой стадии мощная волна сжатия, сформированная после практически одновременной детонации заряда ВВ, сжимает, раздавливает и переводит в текущее состояние слой породы на контакте продукты взрыва — среда. Размеры образовавшейся при этом зоны сжатия (раздавливания) всецело зависят от давления, развиваемого ПД, прочностных и упругих свойств породы [2]. Далее от

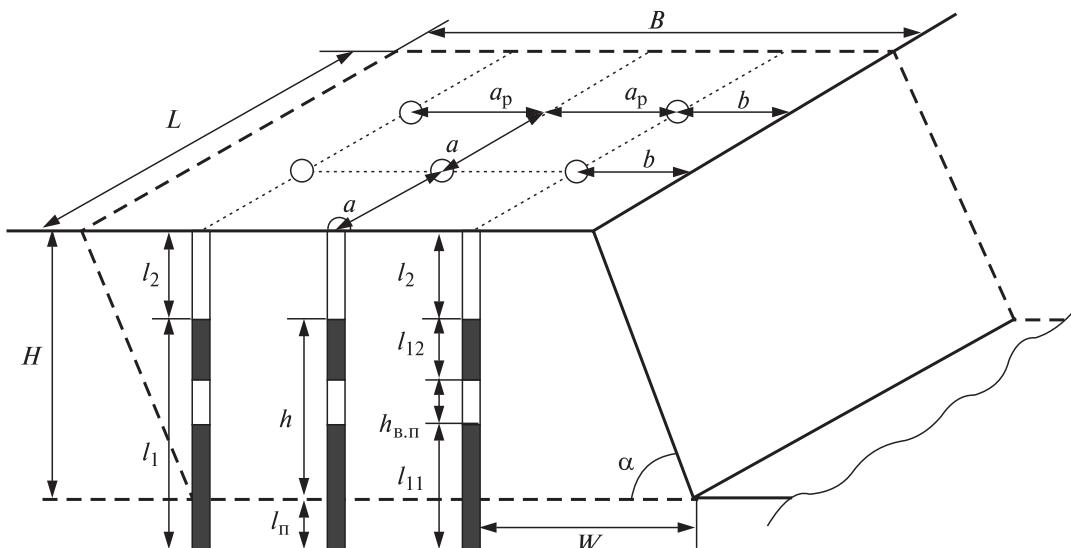


Рис. 2. Параметры расположения зарядов ВВ в блоке массива.

границы зоны раздавливания распространяется зона радиальных трещин. Размеры этой зоны зависят от трещиноватости массива пород, их физико-механических свойств, передачи энергии ВВ в волну напряжений и времени их воздействия на среду и расширяющихся газообразных продуктов взрыва. Процесс вначале мало отличается от явлений, сопровождающих взрыв в безграничной среде, но взаимодействие волны сжатия со свободной поверхностью приводит к более интенсивному дроблению пород.

Эта стадия кратковременная, но здесь расходуется большая часть энергии ВВ и осуществляется основное разрушение взываемого блока, камуфлетная полость цилиндрической формы достигает предельного объема.

На второй стадии, вследствие влияния свободной поверхности, нарушается осесимметричное развитие взрывной полости. Участок породы, ограниченный с одной стороны зоной радиальных трещин, с другой — зоной трещин, идущих от свободной поверхности, разрушается под совокупным действием волновых процессов и ПД. Продукты взрыва доразрушают отбивающую часть массива и сообщают ей дополнительную кинетическую энергию. Хотя скорости, приобретенные частицами в волне сжатия и растяжения, имеют важное значение, главным определяющим фактором на этой стадии является действие оставшихся в полости продуктов взрыва.

Третья стадия — инерциальный разлет породы в поле силы тяжести, образование развала взорванной породы.

Рассмотренная схематизация разрушения массива пород позволяет применять при определении зон разрушения различные методы, учитывать различные факторы и критерии, характерные только для конкретных стадий взрыва.

На основе теоретических исследований по установлению закономерностей расширения ПД в первой стадии для интегрального показателя работы энергии взрыва ВВ — относительного предельного радиуса взрывной полости  $\bar{r}_{\text{пп}} = r_{\text{пп}} / r_0$  (где  $r_{\text{пп}}$  — предельный радиус полости,  $r_0$  — радиус заряда) и прочностной характеристики среды в условиях взрывного нагружения  $P_c$  получены [2] следующие зависимости:

$$\bar{r}_{\text{пп}} = \left( \frac{P_h}{P_c} \right)^{1/4}, \quad (1) \quad P_c = \sigma_{\text{сж}} \left( \frac{\rho_0 c^2}{\sigma_{\text{сж}}} \right)^{1/4}. \quad (2)$$

В свою очередь,

$$P_h = \frac{1}{8} \rho_{\text{вв}} D^2. \quad (3)$$

Уравнение (1) для определения наибольшего радиуса газовой полости при осесимметричном расширении включает в себя основные характеристики ВВ и среды. Как видно, при одинаковых характеристиках ВВ предельный радиус взрывной полости уменьшается с увеличением прочностного сопротивления среды, а при одинаковых свойствах пород — с уменьшением давления ПД.

Из уравнения (2) следует, что прочностная характеристика зависит как от сжимаемости, так и от предела прочности породы на раздавливание. Выражение в скобках представляет собой безразмерную величину, учитывающую условие всестороннего динамического нагружения среды действием взрыва ВВ. Оно показывает, во сколько раз увеличивается сопротивляемость пород разрушению в ближней зоне взрыва при всесторонней динамической нагрузке. Эта характеристика различна для разных видов пород и определяется их механическими и упругими свойствами. Например, для крепких пород типа ороговикованного песчаника с  $\sigma_{\text{сж}} = 258$  МПа,  $c = 4410$  м/с оно составляет  $k_d = 3,90$ , для оруденелых скарнов с  $\sigma_{\text{сж}} = 173$  МПа,  $c = 5900$  м/с  $k_d = 5,26$ .

Радиус зоны мелкого дробления (раздавливания) в монолитных породах в камуфлетной стадии вычисляется из уравнения

$$r_2 = r_{\text{пп}} \left( \frac{\rho_0 c^2}{5 \sigma_{\text{сж}}} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Радиус зоны радиальных трещин определяется по зависимости

$$r_1 = r_2 \cdot \frac{v}{1 + v} \cdot \frac{\sigma_{\text{сж}}}{\sigma_p}. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) показывают, что зоны разрушения в монолитном массиве в первой стадии взрыва полностью определяются упругими, механическими характеристиками среды, детонационными и энергетическими свойствами ВВ. Причем радиус зоны радиальных трещин в 2–3 раза больше радиуса зоны раздавливания. В зависимости от конкретного сочетания свойств среды и ВВ радиусы зон мелкого дробления достигают (7,4–28,7)  $r_0$ , а радиусы радиальных трещин (20,0–59,7)  $r_0$ . При одних и тех же характеристиках ВВ радиусы зон раздавливания в различных породах различаются в 3 раза, а зон трещинообразования — в 2 раза.

В одной и той же породе повышение детонационных характеристик ВВ приводит к увеличению размеров зон дробления и трещинообразования, однако интенсивность последних неадекватна приросту первых. Так, увеличение среднего давления в зарядной камере в 3 раза приводит к приросту размеров зон разрушения всего лишь в 1,33 раза.

Объем раздробленной породы в первой и второй стадиях взрыва одним скважинным зарядом рассчитывается по формуле

$$V_{\text{др}} = (1 + k_1 + k_2) \pi r_1^2 (h + r_2), \quad (6)$$

где  $k_1$  — константа, учитывающая долю разрушенного объема за счет отраженной волны растяжения;  $k_2$  — константа, учитывающая долю разрушения во второй стадии взрыва.

Суммарное значение  $k_1 + k_2 = k$  устанавливается опытным путем. При однорядном взрывании  $k = 1$ , при многорядном КЗВ  $k < 1$ .

Поделив уравнение (6) на объем породы, отбиваемый одним зарядом, можно найти относительный объем активно разрушенной части массива:

$$\bar{V}_{\text{др}} = (1 + k) \frac{\pi r_1}{2W} \cdot \frac{2r_1}{a} \cdot \frac{h + r_2}{H} \leq 1, \quad (7)$$

который отражает принцип рационального размещения заряда ВВ во взываемом массиве.

Величина  $(1 + k)$  по смыслу постоянной  $k$  должна быть разбита на два множителя, пропорционально  $(h/r_1)^{1/2}$  и  $(r_1/h)^{1/2}$ . Для активного дробления блока каждый из трех сомножителей неравенства (7) в отдельности должен приблизиться к единице:

$$\left( \frac{(1 + k)h}{r_1} \right)^{1/2} \frac{\pi r_1}{2W} \approx 1, \quad \frac{2r_1}{a} \approx 1, \quad \left( \frac{(1 + k)r_1}{h} \right)^{1/2} \frac{h + r_2}{H} < 1. \quad (8)$$

Величина линии сопротивления по подошве уступа устанавливается первым соотношением из (8), т.е.

$$W = \left( \frac{2h}{r_1} \right)^{1/2} \frac{\pi r_1}{2}. \quad (9)$$

Расстояние между скважинами определяется вторым соотношением:

$$a \approx 2r_1. \quad (10)$$

Чтобы максимизировать объем зоны активного дробления, нужно принять  $h + r_2 = H$ . Однако по технологическим и техническим причинам этого делать нельзя. Тогда длину незаряженной части скважины, ограничивающую значение  $h + r_2$ , следует принять в пределах

$$l_2 = r_2 + (1 \div 2)r_1. \quad (11)$$

Хорошая проработка подошвы уступа достигается при длине перебора [5]

$$l_{\text{п}} = r_2 \operatorname{ctg} \gamma, \quad (12)$$

где  $\gamma$  — угол полурасстояния воронки дробления.

Для сохранения непрерывности дробления по высоте уступа длину воздушного промежутка между соседними частями заряда необходимо принимать равной или несколько меньшей радиуса зоны раздавливания:

$$h_{\text{в.п}} \leq r_2. \quad (13)$$

Расстояние между рядами скважин при многорядном КЗВ принимается равным расстоянию между ними в ряду, т.е.

$$a_p = a. \quad (14)$$

Интервал замедления между разновременно взрываемыми рядами обусловливается временем отрыва предыдущего слоя от массива и определяется по зависимости

$$r = r_1/u = a/2u, \quad (15)$$

где  $u$  — средняя скорость перемещения границ раздела ПД — порода.

Установлено, что качественная проработка подошвы обеспечивается при  $\bar{r}_{\text{пр}} \approx 1,3$ . Исходя из этого условия, для конкретных пород рассчитывается начальное давление ПД:

$$P_h = 2,86 \cdot P_c. \quad (16)$$

С использованием выражения (3) определяются детонационные характеристики ВВ ( $\rho_{\text{вв}}$ ,  $D$ ), по которым выбирается искомый тип ВВ.

Для расчета гранулометрического состава взорванной породы найденный объем  $V_{\text{др}}$  (6) необходимо разбить на отдельные части по крупности кусков, содержащихся в них. Например, порода в зоне прямого трещинообразования по крупности кусков состоит из трех классов. К первому классу (0–0,2 м) отнесен весь объем зоны раздавливания и одна треть объема зоны радиальных трещин (с учетом равной вероятности выхода фракций), а ко второму (0,2–0,4 м) и третьему (0,4–0,6 м) классам — соответственно по одной трети упомянутого объема за вычетом объема отрезка цилиндра, т.е.:

$$\begin{aligned} V(x_1) &= \pi r_2^2 (h + r_2) + \frac{1}{3} \pi (r_1^2 - r_2^2)(h + r_2) - \frac{1}{3} V_{\text{o.п}}, \\ V(x_2) &= V(x_3) = \frac{1}{3} \pi (r_1^2 - r_2^2)(h + r_2) - \frac{1}{3} V_{\text{o.п}}. \end{aligned} \quad (17)$$

Объем породы, пронизанный радиальными трещинами в тыльной части массива, представляет собой отрезок цилиндра. Он не входит в состав отбитой породы и вычисляется по известной формуле

$$V_{\text{o.п}} = 2/3 r_1^3 \cdot \text{tg}\alpha.$$

При вычислении объемов раздробленных пород к перечисленным классам необходимо присоединять соответствующие фракции из остальной части взрываемого блока. Эти объемы пропорциональны их содержанию в массиве. Таким образом, объемы первых трех классов во всей взорванной породе определяются следующим образом:

$$V'(x_j) = (1 + k) \left[ 1 - \sum_{j=1}^i p(x_j) \right] V(x_j) + p(x_j) \left[ V - \sum_{j=1}^{i-1} V'(x_j) \right], \quad (18)$$

где  $V$  — объем породы отбиваемого слоя массива;  $V(x_j)$  — объем активно раздробленной породы  $j$ -й фракции;  $V'(x_j)$  — весь объем породы  $j$ -й фракции после взрыва;  $p(x_j)$  — содержание  $j$ -й фракции в массиве (доли единицы).

Последующие классы (более 0,60 м) образуются вследствие разваливания пород на естественные отдельности. При этом в третьей стадии взрыва отдельные крупные куски при перемещении соударяются с другими, что приводит к сокращению их доли в общей массе. По экспериментальным данным куски размером более 1,2 м в результате соударения в общем объеме сократятся вдвое. В целом в

классах выше 0,60 м происходит некоторое перераспределение их содержания. Новое содержание фракций (условное содержание их в массиве) подчиняется закономерностям:

$$\begin{aligned} q(x_4) &= p(x_4) + \frac{1}{6} [p(x_6) + p(x_7)], \\ q(x_5) &= p(x_5) + \frac{1}{6} [p(x_6) + p(x_7)], \\ q(x_6) &= \frac{2}{3} p(x_6) + \frac{1}{6} p(x_7), \quad q(x_7) = \frac{1}{2} p(x_7). \end{aligned} \quad (19)$$

Объемы раздробленных пород классов более 0,60 м ( $j \geq 4$ ) находятся по выражению

$$V'(x_i) = \frac{q(x_j)}{\sum_{j=1}^m p(x_j)} \left[ V - \sum_{j=1}^i V'(x_j) \right]. \quad (20)$$

Здесь  $m$  — число классов всех фракций;  $i$  — число классов активно раздробленных фракций,  $i = 3$ .

Для того чтобы вычислить гранулометрический состав взорванной породы, достаточно разделить полученные объемы (18) и (20) на объем отбиваемого слоя массива. Тогда содержание отдельных фракций в объеме первых трех классов рассчитывается по соотношению

$$p(x_j) = (1 + k) \left[ 1 - \sum_{j=1}^i p(x_j) \right] \frac{V(x_j)}{V} + p(x_j) \left[ 1 - \sum_{j=1}^{i-1} p'(x_j) \right], \quad (21)$$

а содержание фракций в последующих классах ( $j > 4$ ) устанавливается по выражению

$$p'(x_j) = \frac{q(x_j)}{\sum_{j=1}^m p(x_j)} \left[ 1 - \sum_{j=1}^{i-1} p'(x_j) \right]. \quad (22)$$

При многорядном КЗВ

$$p'(x_j) = \frac{p'_{\Pi}(x_j) + (n-1)p'_{\text{в}}(x_j)}{n}, \quad (23)$$

где  $p'_{\Pi}(x_j)$  — выход  $j$ -й фракций из первого взрываемого слоя;  $p'_{\text{в}}(x_j)$  — то же из второго и последующих слоев;  $n$  — число рядов скважин.

Система значений  $p'(x_j)$  представляет собой гранулометрический состав взорванной горной массы.

Таким образом, по выражениям (1)–(15) при заданных физико-механических, структурных свойствах пород, детонационных и энергетических характеристиках ВВ можно рассчитать параметры источника энергии взрыва ВВ, а по формулам (21)–(23) — гранулометрический состав взорванной горной массы. На основе этих данных в КазНТУ им. К.И. Сатпаева разработаны САПР буро-взрывных работ на карьерах и компьютерные технологии управления результатами взрывной подготовки горных пород к выемке.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д. Современные проблемы разрушения массивов горных пород // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород. — М., 1999. — С. 7–17.
2. Ракишев Б.Р. Энергоемкость механического разрушения горных пород. — Алматы: Баспагер, 1998. — 210 с.
3. Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. — М., 1957. — 276 с.
4. Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. Механический эффект подземного взрыва. — М., 1971. — 200 с.
5. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б. Разрушение массивов пород в торцевой части заряда // Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород. — М., 1999. — С. 180–184.

**К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко**

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Россия*

## **ПРОТИВОРЕЧИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОЭКОЛОГИИ И ПУТИ ИХ РАЗРЕШЕНИЯ**

Глобальный характер нарастающих противоречий между разумом и природой, опасности, порождаемые этими противоречиями, выдвинули проблему их разрешения в число первых приоритетов дальнейшего развития человеческой цивилизации. Все более ясное понимание того, что в рамках используемой модели индустриального развития защита и сохранение естественной биоты Земли носит характер борьбы со следствиями, а не с причинами, предопределило необходимость поиска иной модели развития.

Современное состояние проблемы взаимоотношений техно- и биосферы можно охарактеризовать как постепенный и очень трудный переход от восприятия природы в качестве безграничного ресурса потребления к пониманию необходимости ее сохранения как важнейшей гарантии существования человеческой цивилизации. Прекращение или резкое снижение темпов техногенного разрушения природных экосистем выдвигается в ряд основных целей технологического развития, а определение путей достижения этой цели становится важнейшей фундаментальной научной проблемой (грант РФФИ № 00-05-64112).

Смена модели мышления нашла отражение в концепции “*Sustainable development*”, которая представляет собой сложнейший конгломерат биологических, экологических, политических, экономических, социальных, технико-технологических и моральных проблем и вопросов, тесно детерминированных друг с другом на уровне конечной цели — сохранение естественной биоты Земли как гарантии выживания будущих поколений людей [1]. Все живое на Земле существует за счет энергии Солнца, неорганического вещества абиоты и прежде всего воды. Основополагающим элементом этой триады является энергия Солнца. Все огромное разнообразие живой материи определяется борьбой за наиболее эффективное получение данной энергии, т.е. место каждого вида в общей иерархии живой материи определяется эволюционно выработанным способом получения энергии Солнца.

Эволюционное преобразование *Homo habilis* в *Homo sapiens* с точки зрения взаимоотношений с природой ознаменовало коренную смену способа получения энергии Солнца. Человек стал получать эту энергию не за счет потребления части биомассы, произведенной на других уровнях пищевой пирамиды в рамках замкнутого цикла обращения вещества и энергии, а за счет целенаправленного разрушения равновесных биологических систем первичной биоты и замены их на искусственно равновесные экосистемы хозяйственного назначения, локальное по месту и времени равновесие в которых поддерживается путем приложения труда человека [2]. Именно на этом уровне проблемы лежит самое глобальное противоречие системы человек — естественная биота Земли, заключающееся в том, что человек, осознавая себя частью природы и стремясь к ее сохранению в интересах будущих поколений, может существовать как биологический вид только за счет ее разрушения. В основе подхода к преодолению данного противоречия должен лежать принцип создания равных возможностей для развития техносферы и биосферы, который определен как стратегия коэволюции двух антагонистических систем [2].

Методология реализации этого принципа предусматривает одновременное развитие трех фундаментальных научных направлений:

- изучение процессов техногенного нарушения абиоты экосистем с целью определения технологических путей устранения или снижения характерных для каждого типа производства техногенных факторов;
- изучение реакции биоты экосистем на действие техногенных факторов с целью определения биологически обоснованного ограничения уровня каждого из них;
- изучение законов формирования и функционирования пограничных зон на стыке коэволюционирующих антагонистических систем техно- и биосферы.

Следующее по рангу противоречие в общей их иерархии заключается в том, что ресурсы и энергию, затрачиваемые на охрану природы, человек может получать только путем разрушения ее важ-

нейшей части — литосфера. Выход из положения здесь видится в придании техногенному разрушению биоты экосистем биологически обратимого характера, что позволит локализовать эти разрушения во времени за счет разного его масштаба при развитии антропогенных (техногенных) и биогенных процессов. Следующий иерархический уровень противоречий, заложенных в систему взаимоотношений человека и природы, можно определить как противоречия между декларированными и фактическими целями природоохранной деятельности.

Вся существующая система управления взаимодействием техно- и биосферы базируется на известном со времен Древней Греции принципе выстраивания логических построений с подменой цели. Первый уровень подмены заключается в том, что, декларируя в качестве цели оптимальное состояние природы, мы, применяя экономические критерии и показатели, не связанные по своей сути с биологическими особенностями объекта защиты, добиваемся фактически оптимального состояния экономики. Второй уровень подмены цели возникает, когда степень опасности техногенного воздействия на биоту экосистем во всей ее сложности оценивают по нормативам, характеризующим опасность этих воздействий только для здоровья человека. То есть декларированная охрана природы фактически сводится к охране человека в ней.

Это противоречие для своего преодоления требует решения проблемы по созданию системы регулирования взаимодействия техно- (антропо-) и биосферы по показателям и критериям, отражающим свойства и реакцию объекта защиты — естественной биоты Земли. Причем проблема эта комплексная и содержит в себе две компоненты, тесно детерминированные по конечной цели:

— создание, на основе познания законов развития живой природы, системы показателей, регламентирующих величину внешних нагрузок по условиям толерантности биосистем;

— создание, на основе познания законов развития техносферы, технологий, позволяющих управлять уровнем внешних воздействий в биологически обоснованных диапазонах.

Использование антропоцентрических критериев регулирования взаимодействия техно- и биосферы порождает еще одно внутреннее противоречие между разнообразием объектов защиты (множеством типов экосистем) и единобразием критериев, регламентирующих для них каждый вид техногенного воздействия, без преодоления которого любые природоохранные мероприятия всегда будут биологически неэффективны.

Совместное действие всех противоречий, в сочетании с очень слабо выраженной экономической заинтересованностью производства в сохранении естественной биоты Земли, создает сегодня парадоксальную ситуацию, когда деградация природы происходит на фоне быстрого роста затрат на ее охрану [3]. Вместе с тем постепенная экологизация общественного мышления привела к пониманию того, что хотя природопользование и является основой существования человека, но при его осуществлении необходимо ориентироваться на экологический (биологический), а не технократический императив. Точного понимания этой позиции пока нет, однако несомненно, что если экологический императив не будет сформулирован предметно — как система конкретных ограничений, методов их определения и способов достижения, взаимосвязанных через единство конечной цели, он останется лишь общей и малопригодной для практики декларацией добрых намерений.

Эволюционно обусловленный способ получения человеком энергии Солнца и формирования среды своего обитания через разрушение естественной биоты Земли приводит к тому, что сам факт развития человечества на нашей планете предопределяет неизбежное и уже фактически сложившееся разделение ее поверхности на три территориальных комплекса. Один занят естественной биотой Земли; второй — искусственно равновесными системами хозяйственного назначения, третий представляет собой урбанистическую среду обитания человека и промышленного производства. Все эти комплексы развиваются по своим внутренним законам, различаются принципами взаимодействия с окружающей средой и характеризуются совершенно различным содержанием понятия экологической безопасности, а следовательно, предназначением и структурой идеи экологического императива [4].

Самую сложную во всех отношениях проблему представляет собой взаимодействие объектов промышленной инфраструктуры с естественной биотой Земли. Наиболее остро она стоит при освоении земных недр, так как вследствие геологической предопределенности расположения месторождений добыча минеральных ресурсов всегда будет связана с неизбежным антропогенным вторжением в природно-равновесные экосистемы. Поэтому, проецируя идеи создания равных возможностей развития двух несовместимых систем на основе согласования уровня техногенных нагрузок на биоту с порогом ее устойчивости в область горных наук, можно сформулировать фундаментальную про-

блему геоэкологии как определение принципов и условий коэволюции природных и горно-технических геосистем на основе изучения законов их развития и взаимодействия.

Методологический подход к решению этой проблемы предусматривает трансформацию общего антагонистического противоречия в цепь локальных противоречий между добывающими предприятиями и реальными экосистемами, преодолеваемых путем целенаправленного создания и выбора технологических решений, уровень внешнего воздействия которых не выходит за рамки диапазонов толерантности структурообразующих элементов биоты экосистем [2].

Главной особенностью этой проблемы является то, что все критерии, регулирующие взаимодействие техногенных и природных объектов, а также регламентирующие характер и величину техногенных факторов, строятся на основе законов развития биологических систем, а все возможности выполнения ограничений связаны исключительно с изменением применяемых горных технологий.

Рассматривая механизм техногенных изменений природных систем вообще, по характеру участия в общем процессе можно выделить три экологических блока:

- источники воздействий и загрязнений — элементы техносферы, в которых воспроизводятся техногенные воздействия и вещества, изменяющие условия существования природной среды;
- транзитные среды, в которых происходит прием и транспортировка техногенных веществ и распространение изменений;
- депонирующие среды, свойства которых изменяются в результате техногенных воздействий или накопления и преобразования техногенных веществ.

В общей системе знаний, необходимых для реализации основополагающей идеи экологической составляющей концепции устойчивого развития, целесообразно выделить три основные подсистемы, существенно различающиеся как по объектам, так и по методам исследования, но ориентированные на достижение единой конечной цели. Принятый далее порядок описания этих подсистем определяется отнюдь не иерархией их значимости, которую невозможно установить, а вытекает из анализа прямых и обратных причинно-следственных связей между ними.

Первая подсистема — геотехнология, рассматривает экологический блок источников воздействий и загрязнений, связанных с освоением недр. В круг основных научных задач здесь входят:

- анализ применяемых горных технологий и их систематизация по структуре, величине и характеру внешних воздействий;
- изучение физико-химических и других механизмов возникновения техногенных воздействий, свойственных тем или иным технологиям или инфраструктурным элементам горного производства с целью определения технологических первопричин, порождающих эти воздействия;
- систематизация техногенных факторов, действующих на окружающую среду по возможностям и путям управления их величиной, вплоть до полного устранения;
- разработка общих принципов и конкретных путей создания типовых технологий с заданной степенью управляемости по величине и структуре внешних техногенных воздействий;
- варианты типовых технологий с заданным по условиям сохранности экосистем уровнем внешних воздействий;
- разработка критериев оценки интегрального уровня воздействия горных технологий и предприятий на окружающую среду.

Второй блок вопросов развития экологических процессов (применительно к проблеме экологии освоения недр) формирует вторую подсистему знаний, необходимых для выполнения целевых функций геоэкологии. Она охватывает круг научных задач по изучению процессов, протекающих в транзитных средах абиоты природных экосистем и законов распределения в них поллютантов и воздействий, свойственных горно-добывающим предприятиям. Данный этап решения общей проблемы является промежуточным. Его конечная цель — определение внешних границ участков биоты, подверженных тем или иным техногенным изменениям, а также характер этих изменений и их распространение во времени и пространстве. Методическую основу таких исследований составляет сбор и анализ фактографической информации, широко применяемый при реализации санитарно-гигиенического принципа экологического нормирования [5].

В отличие от большинства других отраслей промышленности, воздействие горного производства на окружающую среду носит объемный характер, изменяя литосферу, гидросферу, атмосферу, а также поверхность Земли, включая естественную биоту. При этом все формы техногенного влияния на окружающую среду либо возникают при создании условий для антропогенного вторжения в литосферу с целью получения минеральных ресурсов, либо являются внешним выражением его послед-

ствий. Поэтому, несмотря на единство первопричины, воздействия реальных добывающих предприятий на естественную биоту всегда существенно многокомпонентны. Однако далеко не всегда можно объективно выстроить иерархию этих воздействий по степени их опасности. Создавать же экологические нормативы отдельно для каждого токсиканта возможно только в лабораторных условиях, а учитывать совместное воздействие — практически реально только для трех-четырех поллютантов или физических факторов. Следовательно, при реализации натурных наблюдений за экосистемами, воспринимающими комплексные техногенные нагрузки, остро ощущается необходимость свертывания информации о разнохарактерных воздействиях в интегральный показатель, что является одной из важнейших научных задач исследования условий коэволюции природных и техногенных геосистем [6].

В рамках общей целевой функции сохранения биоты при освоении недр основным результатом решения проблемы является определение конкретных природных объектов (типов экосистем), которые оказываются в зоне влияния горного производства, а также реальный уровень техногенной нагрузки на экосистемы, вызванной применяемой для разработки данного месторождения геотехнологией. Методология решения этой части научной проблемы, безусловно, должна опираться на огромную теоретическую, методическую и информационную базу, созданную в ходе многолетнего развития и применения доминирующей концепции санитарно-гигиенического нормирования техногенных воздействий на природную среду [5].

Третий блок вопросов развития экологических процессов составляет третью подсистему знаний, необходимых для практической реализации конечных целей экологического императива при освоении земных недр. К ней, в рамках глобальной проблемы экологии по изучению процессов, протекающих в общей для всех антропогенных воздействий и загрязнений депонирующей среде — естественной биоте Земли, относится комплекс научных задач по изучению техногенных трансформаций в той части биоты, которая находится в пределах зон воздействия добывающих предприятий, и нахождению биологически обоснованных предельных нагрузок на нее по отношению к тем техногенным факторам, которые свойственны применяемой геотехнологии.

Методологической основой этого научного направления являются достижения современной биологии, привнесение в которую технократических подходов позволит на основе использования накопленных и вновь получаемых биологических знаний создать единообразную систему конкретных показателей, регламентирующих техногенное воздействие на биологические системы по условиям их сохранения, а также методики определения этих показателей. Развивая этот принцип, можно достаточно просто сформулировать требования, которым должны удовлетворять биологически обоснованные критерии, применяемые для расчета параметров горных технологий:

- комплексность — способность интегрально отражать техногенные изменения биологической системы;
- объективность — возможность определения на основе измерений естественных параметров биоты;
- конкретность — наличие численной величины и отсутствие качественных и эмоциональных оценок;
- целенаправленность — использование критерия должно обеспечивать сохранение биоты;
- чувствительность — величина показателя изменяется пропорционально степени техногенного возмущения биоты.

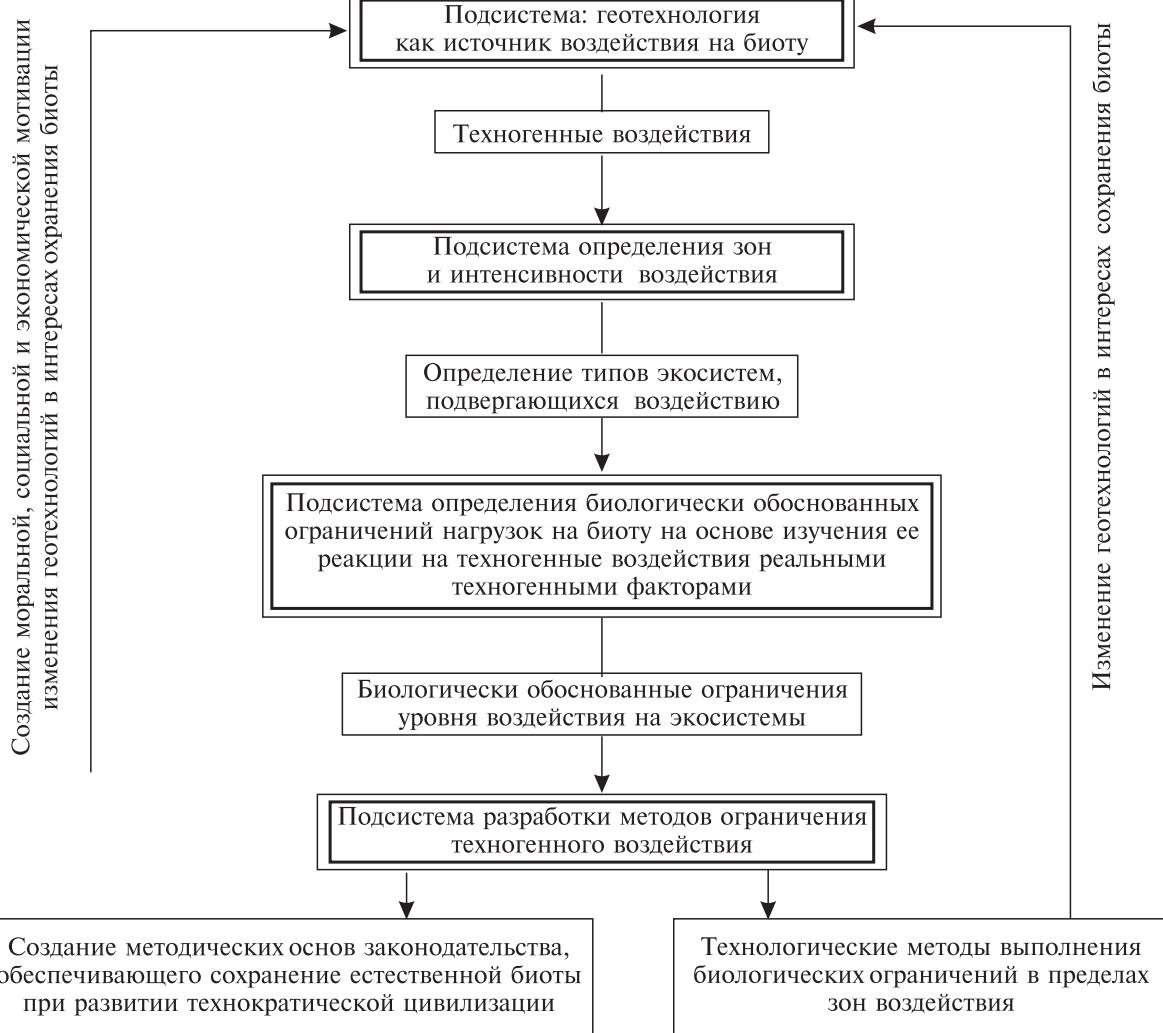
Точно так же и методики определения любого регламентирующего критерия должны быть построены на законах развития биологических систем, но давать в результате показатели, пригодные для применения в горно-технических расчетах.

Решение технологических проблем, связанных с обеспечением экологической безопасности производства, путем соблюдения биологически обоснованных ограничений воздействия потребует изменения системы информации об окружающей среде как объекте защиты при осуществлении производственной деятельности. Эта информация должна существовать в форме, позволяющей использовать характеристики окружающей среды в технических расчетах, должна отличаться высокой определенностью и адекватно описывать свойства биологического элемента, на который распространяется реальное техногенное воздействие. Это требование вступает в очевидное противоречие с огромной сложностью строения окружающей среды. Разрешение этого противоречия путем сознания научно обоснованных принципов дифференциации окружающей среды на элементы, свойства которых достаточно постоянны и определены, также является одной из важнейших научных задач.

В условиях развития минерально-сырьевого комплекса, когда время существования предприятия, а следовательно, и период техногенной нагрузки на природу лимитированы исчерпаемостью запасов месторождения, важнейшей задачей становится изучение законов развития нарушенных экосистем после снятия техногенной нагрузки и создание на этой базе методологических принципов биологического и технического последействия в зонах влияния добывающих предприятий. В основе этих подходов должно лежать не простое механическое восстановление нарушенных ландшафтов, как это часто бывает при проведении рекультивации, а комплексное решение проблемы воспроизведения устойчивых биологических структур, соответствующее законам циклической сукцессии с учетом фактора времени.

И наконец, четвертая подсистема знаний, обеспечивающая возможность достижения состояния экологического императива при освоении недр, включает в себя все аспекты проблемы разработки методов ограничения техногенного воздействия на естественную биоту при работе промышленных (в том числе и добывающих) предприятий. Причем эта проблема, в свою очередь, распадается на две части — создание технологий с заданными свойствами и системы мотивации применения этих технологий.

В области создания горных технологий интересные перспективы имеет идея трансформации в техносферу принципов, обеспечивавших экологическую чистоту функционирования биологических систем, и образование на их основе экотехнологий горного производства [6]. Появление биологически обоснованных ограничений уровня техногенного воздействия придаст целенаправленность и конкретность исследованиям по созданию реальных геотехнологий, свойства которых обеспечивают



Принципиальная схема взаимодействия составных частей природоохранной концепции развития геотехнологии (экологического императива).

безусловное выполнение этих ограничений и создают технологическую основу для обеспечения экологической безопасности добычи минеральных ресурсов на территориях, занятых естественной биотой Земли.

Современный уровень развития горных технологий позволяет выполнить практически любые биологические условия, но ценой пропорционального увеличения издержек производства. В условиях рыночной экономики любые изменения технологии в интересах безопасности человека или окружающей среды снижают эффективность производства. Необходимым условием для реализации этих технических возможностей является декларированная в виде конкретных законодательных, экономических и других актов заинтересованность общества в сохранении естественной биоты Земли. Создание методических основ построения законодательства, стимулирующего применение экологически безопасных технологий, — еще один необходимый компонент, входящий в исполнительную структуру понятия экологического императива (см. рисунок), который представляет собой сложную совокупность технологических, биологических, законодательных и некоторых других принципов и решений, взаимно детерминированных таким образом, что только совместное их применение может обеспечить сохранение условий функционирования и эволюции естественной биоты Земли при развитии технократической цивилизации.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция перехода Российской Федерации на модель устойчивого развития // Зеленый мир. — 1995. — № 7.
2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Охрана окружающей среды при освоении земных недр // Вестн. РАН. — 1998. — Т. 68, № 7. — С. 629–637.
3. State in the World 1994. — New York, London: Norton and Company, 1995. — 265 p.
4. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Стратегия совместного развития природы и общества // Вестн. РАН. — 1998. — Т. 68, № 11. — С. 995–999.
5. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. — Екатеринбург: Наука, 1994. — 280 с.
6. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Принципы построения экологически безопасных геотехнологий // Горн. вестн. — 1999. — № 4–5. — С. 21–28.

**И. Крсманович,**

корпорация “Трайл”, Сербия

**С. Трайкович**

Горный факультет университета, Белград, Сербия

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЗРЫВАНИЯ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОМЕЖУТКАМИ НА ИЗВЕСТНИКОВЫХ КАРЬЕРАХ

Карьер известняка “Грабовик” работает в сложных горно-геологических условиях. В настоящее время карьер располагает современными механизмами для бурения, экскавации, транспортирования и дробления. Для взрывания горных пород используются порошкообразные амиачно-селитряные ВВ типа “Аммонит”, для обводненных скважин — водонаполненные ВВ типа “Detonex”, для сухих скважин — “ANFO” и новое эмульсионное ВВ типа “Demulex”. В работе представлены результаты взрывания улучшенной технологии буровзрывных работ.

Физико-механические характеристики известняка:

- предельная прочность сжатия в сухом состоянии 142 000 кПа;
- предельная прочность при сжатии с содержанием воды 133 280 кПа;
- плотность 2,73 г/см<sup>3</sup>;
- объемная плотность 2,66 г/см<sup>3</sup>.

Средний размер кусков при взрывании должен быть 350 мм. Диаметры взрывных скважин 85 и 105 мм.

Перечень используемых ВВ:

- порошкообразные “Амонекс-1”;
- водонаполненные патронированные “Дetonex”;

Таблица 1

Наименование ВВ	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Теплота взрыва, кДж/кг	Объем газов, л/кг	Скорость детонации, м/с	Водоустойчивость
Аммонекс	1,05–1,10	4248	955	4110–4300	Неуд.
Детонекс	1,50–1,55	5023	878	5500–5700	Отл.
Анфекс	0,85–1,00	3872	925	2000–2500	Неуд.
Демулекс	1,10–1,25	3851	847	4600–4800	Отл.

Таблица 2

Наименование ВВ	Диаметр скважины			
	85 мм		105 мм	
	d <sub>3</sub> , мм	P, кг/м	d <sub>3</sub> , мм	P, кг/м
Аммонекс	70	6,0	90	8,5
Детонекс	70	8,5	90	13,0
Анфекс	85	5,1	105	7,8
Демулекс	70	7,9	60	6,5

- гранулированные “Анфекс-Р”;
- эмульсионные “Демулекс-SBM”.

В табл. 1 приведены взрывчатые характеристики используемых ВВ.

Диаметр заряда и масса ВВ на 1 м скважины для двух диаметров скважин представлены в табл. 2.

Для получения равномерного дробления горных пород при взрывной отбойке акад. Н.В. Мельников и Л.Н. Марченко предложили новую конструкцию скважинного заряда с одним или несколькими воздушными промежутками. Воздушный промежуток располагается между патронами ВВ и в момент взрыва играет роль компенсатора, при этом амплитуда давления газов в скважине уменьшается, а длительность его импульса увеличивается.

Начальное давление в скважине зависит от длины воздушных промежутков и определяется по формуле Ф.А. Баума:

$$P_0 = P_p \frac{1}{\left(1 + \frac{H_{\text{вм}}}{H_E}\right)},$$

где  $P_p$  — начальное давление продуктов детонации, кПа;  $H_{\text{вм}}$  — длина воздушного промежутка, м;  $H_E$  — высота уступа, м.

Таблица 3

Конструкция заряда	Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	Снижение удельного расхода, %	Фракционный состав, %
Сплошной заряд	0,310	—	78,0; 10,0; 6,5; 4,0; 1,5
Рассредоточенный забойкой	0,290	6,5	74,5; 11,0; 6,5; 5,5; 2,5
Рассредоточенный воздушным промежутком	0,260	16,0	88,0; 3,0; 3,0; 0,5

При этом уменьшается трещинообразование в глубину массива, а также расход ВВ на 9–24 %. В табл. 3 приведены показатели взрывания для трех различных конструкций заряда.

Применение заряда новой конструкции с двумя различными типами ВВ различной плотности и детонационными характеристиками (в верхней части размещался “Аммонекс”, а в нижней “Демулекс”, разделенные воздушным промежутком) на основании опытных взрывов позволило получить:

- более равномерное дробление горной массы;
- снижение влияния взрыва в законтурном массиве;
- снижение удельного расхода ВВ;
- образование равномерного раз渲ала раздробленной горной массы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко Л.Н. Увеличение эффективности взрывания при добывании полезных ископаемых. — М.: Наука, 1965.
2. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. — М.: Недра, 1964.
3. Krsmanovich I., Slobodan T. Tehnologija minirawa na površinskom koru kreswaka “Grabovnik”: Jugoslovenski simpozijum o busewu I minirawu. — Beograd, 1995.