

На правах рукописи

БРОВИН Виталий Евгеньевич



**ВЛИЯНИЕ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В ВОЛНЕ
НАПРЯЖЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНСОСТАВА
В ОТДЕЛЬНЫХ ЗОНАХ ВЗРЫВНОГО
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение
горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная
теплофизика*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

2 1 11 2009

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В.Плеханова (техническом университете).

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор

Менжулин Михаил Георгиевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

Куксенко Виктор Степанович,

кандидат технических наук, доцент

Чернобай Владимир Иванович

Ведущее предприятие – ООО «Берг-Проект».

Защита диссертации состоится 17 июня 2009 г. в 15 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.06 при Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В.Плеханова (техническом университете) по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд.1160.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института.

Автореферат разослан 15 мая 2009 г.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор**



Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При действующих технологиях открытых горных работ наблюдается большой выход мелкодисперсных фракций, составляющих отсев и достигающий 30%, и негабарита (в среднем 8-10 %). Для дробления последних шпуровыми или накладными зарядами приходится применять дополнительное количество взрывчатки или энергии.

Большой вклад в исследования процессов разрушения горных пород, формирования и распространения волны напряжений в массиве горных пород при взрыве зарядов ВВ внесли ученые России, в их числе: Е.И. Шемякин, Я.Б. Зельдович, Б.В. Замышляев, А.В. Адушкин, В.Н. Радионов, И.А. Сизов, Ф.А. Баум, Б.И. Шехтер, М.Г. Менжулин, Н.М. Кузнецов и др. Однако действие взрыва в области до 10 радиусов заряда исследовано недостаточно.

Значительные потери энергии взрыва (до 70% и более) происходят в области от 1 до 10 радиусов заряда. Это вызывает наиболее сильное дробление породы с образованием кусков малых размеров. Данный диапазон расстояний составляет незначительную часть зоны разрушения, но по процессам потерь энергии и формировании мелкодисперсных фракций эта зона является определяющей в переизмельчении горной породы. К сожалению, этой области было уделено слишком слабое внимание в существующих работах. Поэтому разработка методов оценки потерь энергии и её учёта при взрыве ВВ с различными детонационными характеристиками является актуальной задачей.

Существенная часть энергии при взрывном разрушении необратимо расходуется на нагревание частиц породы в ближней зоне. В последующем эта доля энергии переходит в формирование трещин, избыточного количества микротрещин и представляет собой диссипативные потери.

Таким образом, на формирование механических возмущений расходуется только небольшая часть энергии взрыва. Поэтому, решая задачи об образовании и распространении волн напряжений, необходимо иметь в виду эффекты диссипации энергии.

Цель работы. Уменьшение выхода некондиционных фракций при ведении взрывных работ на карьерах.

Основные задачи работы:

1. Изучение влияния диссипации энергии на параметры волны напряжений.
2. Разработка метода и оценка зон дробления и трещинообразования с учетом энергии диссипации и её влияния на взрывные нагрузки.
3. Разработка метода и определение параметров по преломлению детонационной волны в горные породы при взрыве различных типов ВВ и формировании продольных и объёмных ударных волн.
4. Разработка метода и оценка параметров волн напряжений в горных породах с учётом влияния энергии диссипации при взрыве различных типов ВВ.
5. Определение толщин и количества откольных слоёв при распространении волны разрежения.

Основная идея работы. Снижение затрат энергии взрыва на диссипативные потери, и следовательно снижение потерь минерального сырья за счёт образования мелких фракций и негабаритов, рекомендуется осуществлять на основании выбора детонационных параметров ВВ, совершенствования параметров буровзрывных работ и создания контурной трещины за последним рядом типовых скважин.

Научная новизна работы:

- Установлена закономерность влияния детонационных характеристик ВВ на энергию диссипации, позволяющая производить выбор взрывчатых веществ, которые обеспечивают минимизацию потерь энергии на переизмельчение и нагревание.
- Определен метод учета характеристик ударной сжимаемости и статической разгрузки при преломлении детонационных волн в окружающую среду и формировании продольных и объёмных волн.

Основные защищаемые положения:

1. С целью снижения выхода мелкодисперсных фракций и расхода ВВ следует уменьшать энергию диссипации, за счёт применения зарядов с пониженными детонационными характеристиками.
2. Параметры волн напряжений в области разрушения горных пород следует определять на основании расчёта давления на фронте ударной волны на стенке взрывной полости и учёта энергии диссипации на всех расстояниях от заряда, а также с применением теории энергетического подобия.
3. Для снижения выхода негабаритов необходимо создание контурной трещины за последним рядом типовых скважин, которая образует гладкую поверхность откола и увеличивает зону разрушения за последним рядом типовых скважин.

Методы исследования. Использовались методы теории распада произвольного разрыва, закономерности распространения продольных и объёмных волн. Методы расчёта гранулометрического состава в отдельных зонах разрушения. Экспериментальные методы оценки гранулометрического состава.

Достоверность научных положений обосновывается большим объёмом работ по сопоставлению гранулометрического состава в отдельных зонах взрывного разрушения с известными экспериментальными и теоретическими результатами, достаточной сходимостью в пределах погрешности измерений расчетных данных с результатами производственных экспериментов.

Практическая значимость работы:

- разработан метод выбора типа ВВ, обеспечивающего уменьшение необратимых потерь энергии при взрыве;
- разработан метод выбора параметров буровзрывных работ, позволяющий снижать выход мелкодисперсных фракций и негабаритов.

Личный вклад автора. Заключается в решении задач по преломлению детонационной волны в окружающую среду и распространению в ней продольных и объёмных волн. В расчётах энергии диссипации при распространении волн напряжений и оценке энергетической эффективности взрывов. В доказательстве эффективности применения контурной трещины с целью уменьшения выхода не габаритных фракций.

Апробация работы. Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных научных конференциях молодых учёных «Полезные ископаемые России и их освоение» 2005 г.-2007 г. (СПГГИ (ТУ), г. Санкт-Петербург), симпозиуме «Неделя горняка-2006» 2006 г. (МГТУ, г. Москва), заседаниях кафедры Безопасности производств и разрушения горных пород и НТС СПГГИ (ТУ).

Публикации: По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы (все работы входят в Перечень ВАК Минобрнауки России).

Объем и структура работы: диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка и изложена на 111 страницах машинописного текста, содержит 25 рисунков, 16 таблиц.

Автор приносит искреннюю благодарность научному руководителю профессору, доктору технических наук, академику Менжулину Михаилу Георгиевичу, развитие идей которого, постоянное внимание и помощь способствовали успешному выполнению работы; а также другим сотрудникам кафедры Безопасности производств и разрушения горных пород за содействие в сборе материалов и практические советы при написании диссертации.

Основное содержание работы

В первой главе диссертационной работы представлено современное состояние изученности процесса формирования зон разрушения горных пород и распространения волн напряжений во времени. Сделан обзор методов прогноза гранулометрического состава взорванной горной массы. Определены цели и задачи исследований.

Во второй главе представлены теоретические исследования процесса преломления детонационной волны в окружающую среду.

В третьей главе предложена методика расчёта энергии диссипации.

В четвертой главе описано применение контурного взрывания для увеличения эффективности взрыва и снижения выхода негабаритных фракций.

Основные результаты работы отражены в следующих защищаемых положениях:

- 1. С целью снижения выхода мелкодисперсных фракций и расхода ВВ следует уменьшать энергию диссипации, за счёт применения зарядов с пониженными детонационными характеристиками.*

Существенная часть энергии (до 70%) при взрывном разрушении необратимо расходуется на нагревание частиц породы в ближней зоне и представляет собой диссипативные потери. Следствием интенсивных диссипативных процессов является повышение температуры и развитие наведённой микротрещиноватости в деформируемой взрывом среде.

Существенная доля энергии остаётся в полости взрыва в виде внутренней энергии продуктов детонации и тоже может быть отнесена к диссипативным потерям. Таким образом, на формирование механических возмущений расходуется только часть энергии взрыва. Поэтому, решая задачи об образовании и распространении волн напряжений, необходимо иметь в виду эффекты диссипации энергии.

При действии волн напряжений на некоторый выделенный объем, нагрузка носит динамический характер до достижения максимальных значений напряжений, после чего происходит статическая разгрузка до нормальных напряжений. Вследствие разности кривых нагрузки и разгрузки в частицах остаётся часть энергии.

При ударном сжатии параметры состояния среды изменяются от начальных p_o и ρ_o до фронтовых p_ϕ и $\rho_\phi = \frac{1}{V_\phi}$. На графике (рисунок 1) эти состояния обозначены соответственно точками A и A' . В соответствии с уравнением Гюгонио внутренняя энергия частиц на фронте

$$e_\phi - e_o = \frac{1}{2}(p_\phi + p_o)(V_o - V_\phi), \quad (1)$$

т.е. приращение энергии равно площади треугольника $AA'B$. После прохождения фронта происходит разгрузка частиц, и давление снова уменьшается от p_ϕ до p_o . Такое уменьшение давления происходит адиабатически, адиабата разгрузки описывается некоторой кривой $A'SA$, всегда расположенной ниже прямой AA' .

Энергия разгрузки

$$e_\phi - e_o = \int_{V_\phi}^{V_o} p dV, \quad (2)$$

т.е. она равна площади, заключённой между отрезками AB и $A'B$ и кривой $A'SA$.

Таким образом, существует разность между энергией, запасённой на фронте и энергией разгрузки. Эта разность энергии равна площади, ограниченной прямой AA' и кривой $A'SA$ (на рисунке 1 заштрихована), и называется энергией диссипации. Она является остаточной внутренней энергией частиц после прохождения фронта и восстановления давления до невозмущённого состояния. Температура таких частиц выше невозмущённых.

Зависимость $p(V)$ на адиабате разгрузки тем больше отличается от линейной, чем больше пористость среды. Поэтому

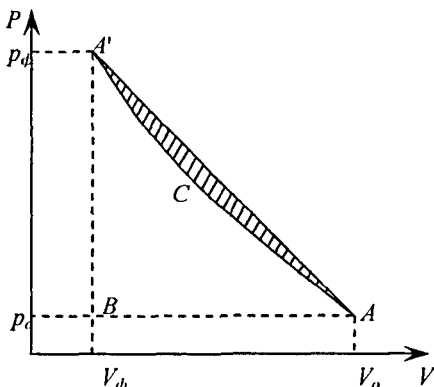


Рис.1. Статическая и ударная адиабаты

тепловые потери при распространении волн напряжений увеличиваются вместе с пористостью. Тепловые потери существенно растут с увеличением давления (или напряжения) на фронте ударной волны или максимальных нагрузок в волне напряжений.

Удельная энергия диссипации представляет собой разность удельных энергий нагрузки e_n и

разгрузки e_p :

$$e_{дiss(i)} = e_{H(i)} - e_{P(i)} \approx e_{тр} \quad (3)$$

где $e_{тр}$ – энергия, расходуемая на трещинообразование.

В ближней зоне взрыва процесс нагрузки может быть описан в упругом, совпадающем с гидродинамическим, приближении. Удельная энергия нагрузки на основании условий динамической совместности равна:

$$e_{H(i)} = \frac{1}{2} \cdot P_{(i)} \cdot \frac{1}{\rho_o} \cdot \left(1 - \frac{1}{\bar{\rho}_{(i)}} \right) \quad (4)$$

Удельная энергия разгрузки определяется уравнением

$$e_p = - \int_{\rho}^{\rho_o} \frac{P d\rho}{\rho^2} \quad (5)$$

Полная энергия диссипации на единицу длины, определяемая по всем частицам внутри возмущённой области для цилиндрического заряда

$$E_{дiss(i)} = \pi \cdot \rho_o \cdot e_{дiss} \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2) + \sum_1^{i-1} E_{дiss(k)} \quad (6)$$

При преломлении детонационной волны в горную породу в ней формируется ударная волна.

При отсутствии энергии диссипации зависимость $\sigma_{r_{\max}}(\bar{r})$ определяется формулой

$$\sigma_{r_{\max}}(\bar{r}) = \frac{A}{\bar{r}^{1,1}} \quad (7)$$

При наличии энергии диссипации вводится понятие эффективного радиуса. Для цилиндрического заряда он будет равен

$$R_{oz}^{\text{эф}} = R_{oz} \cdot \sqrt{1 - \frac{E_{\text{дисс}}}{E_o}} \quad (8)$$

Полная выделившаяся энергия при взрыве цилиндрического заряда

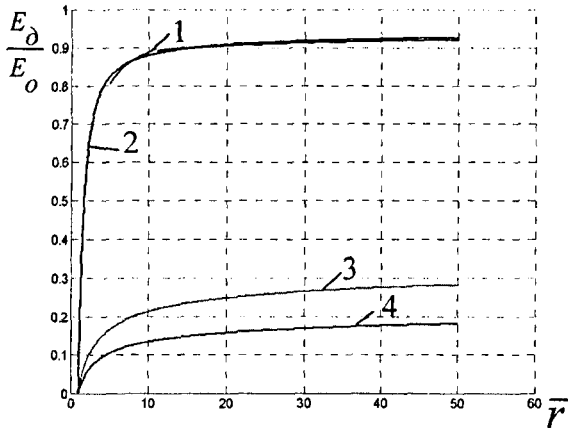
$$E_o = \pi \cdot R_{oz}^2 \cdot \rho_{BB} \cdot Q_{BB} \quad (9)$$

Тогда, максимальное напряжение с учётом введения эффективного радиуса

$$\sigma_{r_{\max}}(\bar{r}_{cp(i)}) = \frac{A}{\bar{r}_{cp(i)}^{1,1}} \cdot \left(\frac{R_{oz}^{\text{эф}(i)}}{R_{oz}} \right)^{1,1}, \quad (10)$$

$$\text{где } \bar{r}_{cp(i)} = \frac{r_{(i)} + r_{(i-1)}}{2}.$$

На рисунке 2 представлены графики построенные с использованием уравнения (6). Как видно из графиков, сходимость результатов решения обратной задачи и расчёт по описанной схеме для тэна хорошая, что в свою очередь даёт возможность считать данный метод нахождения энергии диссипации достаточно точным. Игданит, как ВВ с наиболее низкими детонационными характеристиками меньше всего теряет энергию взрыва, что и отражено на графиках (кривая расположена ниже остальных типов ВВ).



- 1 – экспериментальные данные (обратная задача ВВ-тэн)
- 2 – данные полученные с помощью расчёта (ВВ-тэн)
- 3 – данные полученные с помощью расчёта (ВВ-граммонит 79/21)
- 4 – данные полученные с помощью расчёта (ВВ-игданит)

Рис. 2. Зависимость доли энергии диссипации по отношению к полной выделенной энергии зарядов различных ВВ

2. *Параметры волн напряжений в области разрушения горных пород следует определять на основании расчёта давления на фронте ударной волны на стенке взрывной полости и учёта энергии диссипации на всех расстояниях от заряда, а также с применением теории энергетического подобия.*

При преломлении детонационной волны в горной породе формируются продольные и объёмные ударные волны. Параметры ударных адиабат таких волн определяются на основании условий динамической совместности и экспериментальных данных по ударной сжимаемости горных пород.

С использованием этих данных в работе получены соотношения, позволяющие определять параметры ударных волн на стенке взрывной полости.

Нормальное падение фронта детонационной волны на стенку взрывной камеры может быть рассмотрено на основании общих положений теории распада произвольного разрыва.

После преломления детонационной волны в окружающую твердую среду в последней возникает двухволновая картина. Первой распространяется упругая продольная волна, скорость которой составляет C_p . За ней следует волна объемного сжатия со скоростью C_v . Величины C_p и C_v связаны соотношением

$$C_v = \sqrt{\frac{1+\nu}{3(1-\nu)}} \cdot C_p, \quad (11)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

На рисунке 3 представлены годографы $R(t)$ для обеих волн – продольной и объемной, распространяющихся от поверхности заряда. Для упругой волны справедливо соотношение:

$$P = \rho_0 C_p u, \quad (12)$$

которое может рассматриваться как ударная адиабата.

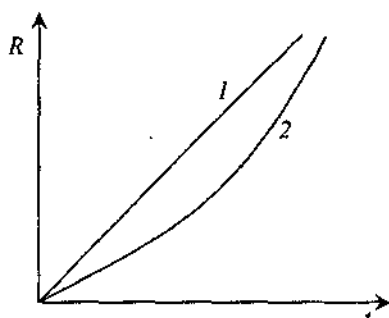


Рис.3. Распространение продольной (1) и объемной (2) волн от поверхности заряда

Для плавленого кварца и горных пород регистрируется только одна волна с плавным нарастанием напряжений до максимума и последующим спадом. Можно предположить, что и в этом случае распространяются продольные и объемные волны, однако особенности строения горных пород способствуют формированию протяженной области нарастания напряжений до максимума и отсутствию фронтов ударных волн. Горные

породы представляют собой полиминеральные конгломераты, состоящие из разнотипных минеральных зерен различных размеров и формы. Минеральные зерна скреплены цементирующими прослойками различных составов.

Все это создает большую неоднородность среды, способствующей возникновению различных значений локальных напряжений и скоростей распространения возмущений, их взаимодействию с неоднородностями и друг с другом. Тем не менее, можно считать, что наиболее быстрые возмущения обусловлены продольной волной. Для обеих этих волн существуют свои ударные адиабаты. Для продольной упругой волны ударная адиабата описывается формулой. Для волны объемного сжатия на основании многочисленных экспериментальных данных ударную адиабату горной породы можно принять в виде:

$$N = C_v + ku, \quad (13)$$

где $k = \frac{\Gamma + 1}{2}$; Γ - коэффициент Грюнайзена: $\Gamma = \frac{\alpha V}{\beta C_v}$,

α - коэффициент объёмного теплового расширения

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p; \beta - \text{коэффициент сжимаемости, } \beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_T.$$

Точка P_o, U_o может находиться выше (A) ударной адиабаты среды \underline{I} или ниже (B) (рисунок 4). В первом случае в продуктах детонации после преломления возникает волна разрежения, характеризующаяся уменьшением давления и увеличением скорости частиц в продуктах детонации на величину Δu .

В точке C давления и скорости частиц в окружающей среде и в продуктах детонации по обе стороны от границы станут одинаковыми.

Ударная адиабата (13) совместно с условием $P_\phi = \rho_o N u$ может быть преобразована к виду:

$$P_\phi = \rho_o (C_v + ku)u \quad (14)$$

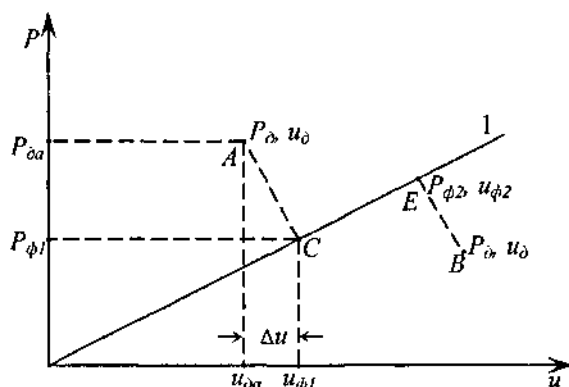


Рис.4. Преломление детонационной волны в окружающую среду.
 1 – ударная адиабата среды; A, B – состояния на фронте детонационной волны

Приращение скорости в продуктах детонации составляет:

$$\Delta u = \frac{2\gamma D}{\gamma^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{P_\phi}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{2\gamma}} \right], \quad (15)$$

где D – скорость детонационной волны, P_ϕ – давление на фронте ударной волны в окружающей заряд среде, P_0 – давление на фронте детонационной волны.

Суммарная скорость частиц в продуктах детонации после распада разрыва составляет:

$$u_\Sigma = u_0 + \Delta u \quad (16)$$

Такой же должна быть и скорость частиц на фронте образовавшейся в окружающей среде ударной волны.

Конкретное выражение для ударной адиабаты горной породы принимается исходя из результатов вычислений значений P_ϕ , которое должно быть максимальным.

При положении точки P_0, u_0 ниже ударной адиабаты горной породы для выполнения граничного условия равенства давлений и массовых скоростей частиц по обе стороны от границы раздела между ВВ и породой по продуктам детонации должна

распространяться ударная волна вторичного сжатия, а в горной породе – ударная волна.

Принимая, что состояние продуктов детонации описывается адиабатой Пуассона и что параметры начального состояния среды при вторичном ударном сжатии определяются значениями параметров на фронте детонационной волны, получим соотношение для скорости частиц в продуктах детонации после преломления детонационной волны:

$$u_{\Sigma} = u_{\partial} - \frac{\sqrt{2\gamma}(P_{\phi} - P_{\partial})}{\{\rho_{\text{овв}}(\gamma - 1)[(P_{\phi} - P_{\partial})(\gamma + 1) - P_{\partial}(\gamma - 1)]\}^{1/2}}$$

Эта скорость совпадает со скоростью на фронте преломлённой в горную породу ударной волны. Таким образом, давление в преломлённой ударной волне определится из соотношения:

$$u_{\partial} - \frac{\sqrt{2\gamma}(P_{\phi} - P_{\partial})}{\{\rho_{\text{овв}}(\gamma + 1)[(P_{\phi} - P_{\partial})(\gamma + 1) - P_{\partial}(\gamma - 1)]\}^{1/2}} = u_{\phi}(P_{\phi}),$$

где $u_{\phi}(P_{\phi})$ описывается формулами (12) или (13), а их конкретное выражение выбирается из условия максимального из двух вычисленных значений P_{ϕ} .

3. *Для снижения выхода негабаритов необходимо создание контурной трещины за последним рядом типовых скважин, которая образует гладкую поверхность откола и увеличивает зону разрушения за последним рядом типовых скважин.*

Качество взрывоподготовки горной массы и уровень негативного воздействия взрывных работ не всегда удовлетворяет предъявляемым требованиям, что приводит к увеличению затрат на вторичное дробление и, как следствие, удорожанию себестоимости конечного продукта.

Взрывное разрушение горных пород представляет собой многоступенчатый процесс и имеет особенности в отдельных зонах (рисунок 5): дробления, трещинообразования и откольной.

В зоне дробления, непосредственно примыкающей к полости взрыва, происходит наиболее интенсивное разрушение породы с образованием значительного количества мелких фракций.

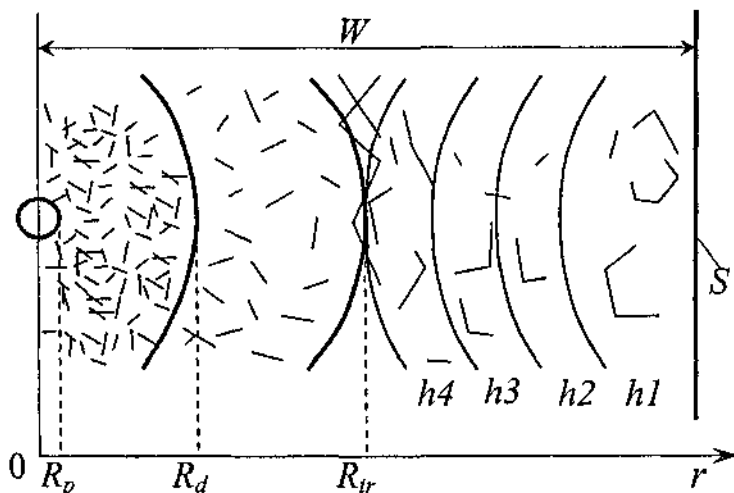


Рис.5. Образование зон разрушения и откольных слоев

W – ЛНС; r – расстояние от заряда; R_p – радиус зоны переизмельчения; R_d – радиус зоны дробления; R_{tr} – радиус зоны трещинообразования; h_i – толщина откольных зон; S – откос уступа.

В зоне радиального трещинообразования тангенциальные растягивающие напряжения превышают динамический предел прочности и образуются радиальные трещины. Очевидно, что резкой границы зоны трещинообразования благодаря неоднородности среды и ее естественной блочности не может быть. Поэтому вблизи границы области трещинообразования и вне ее существует зона нерегулируемого дробления.

Очевидно, что при взрыве системы зарядов именно граница зоны трещинообразования и нерегулируемого дробления последнего ряда и будет представлять собой откос после освобождения от разрушенной горной массы. Такая неровная поверхность и ее окрестности содержат значительное количество негабаритов. За границей зоны трещинообразования все компоненты напряжения меньше пределов прочности породы.

При достижении волной напряжения откоса уступа на нем происходит образование отраженной волны разряжения, которая распространяется от уступа к заряду. Напряжения в волне разряжения сравнимы по абсолютной величине с радиальными напряжениями в падающей волне, но становятся растягивающими.

На некотором расстоянии от откоса уступа суммарное растягивающее напряжение становится равным пределу прочности породы на растяжение и образуется поверхность откола. Слой среды между откосом и поверхностью откола представляет собой первый откольный слой (рисунок 5).

Такой процесс отделения слоёв будет происходить до тех пор, пока суммарное напряжение будет больше или равным пределу прочности на отрыв. В результате образуется еще несколько откольных слоев: $\sigma_{\Sigma i} \geq [\sigma_{отр}]$, где

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma i} = & -\sigma_{r_{\max}} (W+h_1+\dots+h_i) + \sigma_{отр} \cdot (i-1) + \dots \\ & + \sigma_{r_{\max}} (W-h_1-\dots-h_i) \cdot F(W-h_1-\dots-h_i, t_i) \end{aligned} \quad (17)$$

$$t_i = \frac{2(h_1 + \dots + h_i)}{c_p}$$

С помощью этого метода были рассчитаны количество и толщины откольных слоев в зоне откола. В таблице 1 приведены толщины и количество откольных слоёв.

Таблица №1. Расчетные толщины откольных слоев

При диаметре скважин 250 мм			При диаметре скважин 100 мм		
Номер слоя	Расстояние от заряда R, м	Толщина слоя h, м	Номер слоя	Расстояние от заряда R, м	Толщина слоя h, м
1	4,7	0,8	1	5,07	0,43
2	4,45	0,25	2	4,88	0,19
3	4,19	0,26	3	4,65	0,23
4	3,88	0,31	-	-	-

*Предел прочности на отрыв $\sigma_{отр} = 10 \text{ МПа}$.

По полученным данным можно сделать вывод, что для каждого массового взрыва должен производиться перерасчёт параметров с учетом степени нарушенности массива предыдущим взрывом и естественной блочности.

Добиться лучшего гранулометрического состава взорванной горной массы с применением контурной трещины возможно только при получении предыдущим взрывом ровного, близкого к вертикали, уступа (рисунок 6), иначе откольные слои просто не могут образоваться.

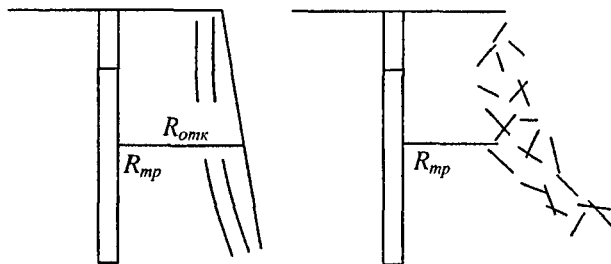


Рис. 6. Схема образования откольных слоёв при гладком и шероховатом откосах уступа

Таким образом, предыдущий взрыв должен быть произведён тоже с контурной трещиной, которая и даёт ровную стенку уступа. В этом случае величина ЛСПП практически равна ЛНС, что позволяет уменьшить величину перебура и создаёт зону откольных трещин. Откольные трещины в свою очередь улучшают гранулометрический состав горной массы, так как происходит дробление горной породы не по естественным блокам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой поставлена и решена актуальная задача уменьшения выхода некондиционных фракций при ведении взрывных работ на карьерах, за счет снижения затрат энергии взрыва на диссипативные потери.

Основные результаты научных исследований:

1. Существенное значение для снижения потерь энергии взрыва на диссипативные потери имеют детонационные параметры применяемых взрывчатых веществ.
2. Применение ВВ с различными детонационными характеристиками приводит к различию в значениях энергии диссипации (от 15 до 70%). Энергия диссипации приводит к переизмельчению горных пород в зоне дробления ($1-10R_{03}$), снижению параметров волн напряжений при $\bar{r} > 10R_{03}$ и уменьшению объёмов разрушенной горной массы.
3. Параметры преломлённых ударных волн на стенке взрывной полости определяются на основании совместного решения уравнений, определяющих ударные адиабаты объемных и продольных волн в горной породе и параметров распределения возмущений в продуктах детонации.
4. Уменьшение начальной концентрации энергии в заряде приводит к уменьшению диссипативных потерь энергии и, соответственно увеличивается энергия, расходуемая на механическую работу. Данный метод определения напряжений позволяет рассчитывать напряжения на всех расстояниях, начиная от радиуса заряда.
5. Добиться лучшего гранулометрического состава взорванной горной массы с применением контурной трещины возможно только при получении предыдущим взрывом ровного, близкого к вертикали, уступа. Таким образом, предыдущий взрыв должен быть произведён тоже с контурной трещиной, которая и даёт ровную стенку уступа.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Бровин В.Е.* Расчёт энергии диссипации и параметров волн напряжений при взрыве цилиндрических зарядов взрывчатых веществ в горной породе // *Бровин В.Е., Менжулин М.Г./ Записки Горного института, СПб т.167, ч.2., 2006. С. 83-85.*
2. *Бровин В.Е.* Влияние детонационных характеристик ВВ на параметры разрушения горных пород // *Бровин В.Е., Менжулин М.Г./ Сборник "Взрывное дело", №98/55, 2007. С.55-62.*
3. *Бровин В.Е.* Энергетическая эффективность разрушения горных пород при взрыве ВВ с различными детонационными характеристиками // *Бровин В.Е., Менжулин М.Г./ Записки Горного института, т.171, 2007. С. 121-125.*
4. *Бровин В.Е.* Формирование продольных и объемных волн в окрестности полости при взрыве взрывчатого вещества в горных породах // *Бровин В.Е., Менжулин М.Г./ Записки Горного института, т.180, 2009. С. 165-168.*

РИЦ СПГГИ. 13.05.2009. 3.225. Т.100 экз.
199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2