

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Усмонова Хумора Султон кизи¹, Хайитов Одилжон Гафурович²

^{1,2}Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, город Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты повышения эффективности буровзрывных работ в водонасыщенных горных породах при открытой разработке месторождений. Исследованы механизмы разрушения массива в условиях повышенной влажности, закономерности распространения взрывной энергии, а также влияние гидрогеологических факторов на параметры взрыва. Выполнен анализ сейсмических и деформационных воздействий, возникающих при массовых взрывах. Разработаны рекомендации по оптимизации параметров бурения и выбору взрывчатых веществ с учетом степени обводненности массива. Результаты исследования направлены на повышение качества дробления горной массы, снижение перерасхода взрывчатых веществ и обеспечение устойчивости откосов карьера.

Ключевые слова: водонасыщенные породы, открытые горные работы, буровзрывные работы, гидрогеологические условия, эффективность взрыва, сейсмическое воздействие, дробление пород.

Abstract: This article examines the theoretical and practical aspects of improving the efficiency of drilling and blasting operations in water-saturated rock masses during open-pit mining. The mechanisms of rock mass fragmentation under high-moisture conditions, the patterns of explosive energy propagation, and the influence of hydrogeological factors on blasting parameters are investigated. An analysis of seismic and deformation effects generated by large-scale blasting operations is carried out. Recommendations are developed for optimizing drilling parameters and selecting appropriate explosives based on the degree of water saturation of the rock mass. The research findings are aimed at improving rock fragmentation quality, reducing excessive explosive consumption, and ensuring the stability of open-pit mine slopes.

Keywords: water-saturated rocks, open-pit mining, drilling and blasting operations, hydrogeological conditions, blasting efficiency, seismic impact, rock fragmentation.

В современных условиях интенсификации открытых горных работ особую актуальность приобретает проблема эффективного ведения буровзрывных работ в водонасыщенных горных породах. Повышенная влажность массива существенно изменяет физико-механические свойства пород, влияет на процессы распространения ударных волн и формирование зоны разрушения [1].

Недостаточный учет гидрогеологических факторов приводит к перерасходу взрывчатых веществ (ВВ), ухудшению качества дробления, повышенному уровню сейсмического воздействия и снижению устойчивости бортов карьера. В связи с этим

требуется комплексное исследование механизма разрушения водонасыщенных пород и разработка научно обоснованных рекомендаций по оптимизации параметров буровзрывных работ.

Целью настоящей работы является повышение эффективности взрывных работ в условиях обводненности массива на основе анализа механизма разрушения и оптимизации технологических параметров.

Особенности механизма разрушения водонасыщенных пород: Водонасыщенность оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние горного массива. Наличие поровой воды изменяет:

- скорость распространения продольных и поперечных волн;
- величину динамических напряжений;
- характер трещинообразования;
- глубину зоны разрушения (таб. 1).

При взрывном воздействии в водонасыщенной среде формируется сложное поле напряжений, включающее упругие, пластические и фильтрационные процессы. Поровое давление способствует дополнительному раскрытию трещин, однако одновременно происходит демпфирование части взрывной энергии.

Установлено, что при повышении степени водонасыщения:

- увеличивается радиус зоны пластической деформации;
- изменяется гранулометрический состав дробленой массы;
- возрастает вероятность избыточного разрушения законтурного массива.

Закономерности распространения взрывной энергии: Распространение энергии взрыва в водонасыщенной породе подчиняется ряду закономерностей:

1. Амплитуда напряжений снижается быстрее по сравнению с сухими породами.
2. Пиковые значения напряжений зависят от порового давления.
3. Интерференция волн при коротких интервалах замедления усиливает повреждение массива.

Таблица 1

Особенности механизма разрушения водонасыщенных пород при взрывном воздействии

№	Фактор воздействия	Физическая природа процесса	Влияние на НДС массива	Последствия разрушения	Практические риски
1	Наличие поровой воды	Гидростатическое и динамическое поровое давление	Изменение эффективных напряжений ($\sigma' = \sigma - p$)	Раскрытие существующих трещин	Законтурное разрушение
2	Скорость распространения волн	Изменение акустического импеданса	Снижение скорости Р- и S-волн	Быстрое затухание напряжений	Снижение эффективности

		среды			дробления
3	Динамические напряжения	Перераспределение ударной волны	Рост локальных пиковых напряжений	Локальные зоны интенсивного разрушения	Неравномерная фрагментация
4	Трещинообразование	Совместное действие растягивающих и фильтрационных напряжений	Рост радиуса пластической зоны	Увеличение количества микротрещин	Потеря устойчивости бортов
5	Демпфирование энергии	Поглощение части энергии водой	Снижение общей энергии разрушения	Изменение грансостава	Повышенный расход ВВ
6	Интерференция волн	Наложение волн при малых интервалах замедления	Локальное усиление напряжений	Усиление контурного разрушения	Повреждение сохраняемого массива
7	Степень водонасыщенности	Процент заполнения пор водой	Увеличение пластической зоны	Рост глубины разрушения	Избыточное разрушение массива

Анализ показал, что оптимальный интервал замедления между скважинами позволяет:

- уменьшить концентрацию пиковых напряжений;
- снизить глубину законтурного разрушения;
- обеспечить более равномерное дробление.

Таким образом, выбор времени замедления является ключевым фактором управления процессом разрушения.

Регулировка параметров бурения:

Глубина скважин: выбирается с учетом мощности слоя породы и водонасыщенности, чтобы оптимально разрушить массу и минимизировать перерасход ВВ. Шаг между скважинами: при высокой трещиноватости уменьшают шаг, чтобы равномерно разрушить породу, при низкой трещиноватости — увеличивают. Диаметр скважин: оптимизация диаметра позволяет контролировать объем заряда и глубину разрушения, избегая чрезмерного дробления.

Выбор взрывчатых веществ (ВВ):

В условиях повышенной влажности рекомендуется водостойчивые составы. Эмульсионные ВВ: устойчивая детонация, минимальное влияние воды. Водогелевые

ВВ: равномерное распределение энергии, высокая устойчивость к вымыванию. Состав ВВ подбирается с учётом плотности, влажности и трещиноватости массива.

Интервалы замедления (детонации): оптимальные интервалы между скважинами снижают пики динамических напряжений и предотвращают чрезмерное разрушение законтурного массива. При коротких интервалах возможна интерференция волн, что увеличивает локальное разрушение. Средние интервалы замедления обеспечивают лучший баланс между качеством дробления и безопасностью работ.

Контроль равномерности дробления: правильная сетка бурения и оптимальные ВВ обеспечивают равномерное дробление с минимальным количеством крупных негабаритов и мелкой фракции. Это снижает расходы на вторичное дробление и повышает производительность карьерной техники.

Выбор взрывчатых веществ: в условиях обводнённости рекомендуется применение водоустойчивых ВВ (эмульсионных и водогелевых составов) [2].

Их преимущества:

- высокая устойчивость к вымыванию;
- стабильность детонации;
- равномерность распределения энергии.

Время замедления: Оптимальное замедление позволяет снизить уровень сейсмического воздействия и предотвратить чрезмерное разрушение законтурного массива. Практика показывает, что средние интервалы замедления обеспечивают наилучшее соотношение между качеством дробления и безопасностью работ.

Зависимость амплитуды колебаний от расстояния: амплитуда сейсмических колебаний уменьшается с увеличением расстояния от места взрыва. В водонасыщенных породах затухание колебаний происходит быстрее, чем в сухих породах из-за демпфирующего эффекта воды в порах [2].

Изменение спектра частот: при взрывах в водонасыщенных породах наблюдается сдвиг частот в сторону низкочастотного диапазона. Это связано с увеличенной массой и вязкостью среды, что влияет на скорость распространения упругих волн.

Перераспределение динамических нагрузок: вода в порах увеличивает давление на стенки трещин, что вызывает перераспределение напряжений и пластическую деформацию окружающей породы. Чрезмерное разрушение краевых зон может привести к обрушению откосов, если не контролировать параметры заряда [3].

Рациональный подбор заряда: подбор массы ВВ и последовательности подрыва позволяет снизить уровень вибрации на 15–25 % при соблюдении условий предельно допустимой скорости смещения частиц. Оптимальные интервалы замедления между скважинами уменьшают пики напряжений и минимизируют законтурное разрушение.

Методы контроля вибрации: использование сейсмометров для мониторинга в реальном времени. Регулировка времени детонации и конструкции зарядов с учётом гидрогеологических условий. Введение демпфирующих прослоек или водоотводов для снижения динамических нагрузок на откосы [4].

Кроме того, контроль деформационных процессов позволяет своевременно выявлять зоны потенциальной нестабильности и корректировать технологические параметры.

Анализ эффективности дробления: Качество дробления оценивается по гранулометрическому составу горной массы. Сухие породы: для оптимального дробления требуется меньше энергии, так как в сухих породах энергия расходуется с минимальными потерями (Рис.1). Водонасыщенные породы: часть энергии взрыва демпфируется водой, поэтому для оптимального дробления требуется больше энергии (рис.2). В условиях повышенной влажности наблюдается:

- увеличение доли мелкой фракции при избыточной энергии;
- образование крупных негабаритов при недостаточной энергии.

Оптимизация параметров заряда и сетки бурения позволяет:

- повысить равномерность дробления;
- сократить затраты на вторичное дробление;
- снизить расход ВВ на 8–12 %.

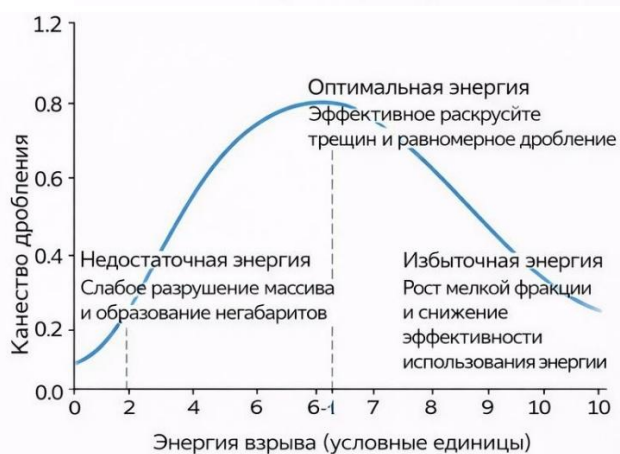
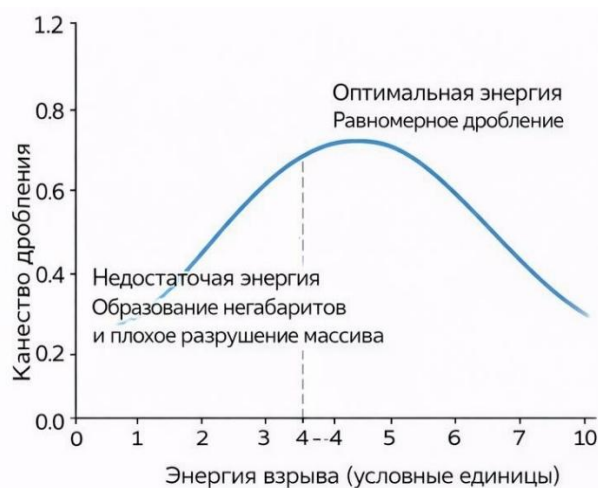


Рис. 1. Зависимость качества дробления дробления сухих пород от энергии взрыва.

Рис. 2. Зависимость качества водонасыщенных пород от энергии взрыва.

Экономический эффект достигается за счет уменьшения затрат на переработку и повышения производительности экскавационного оборудования.

В заключение можно сказать, водонасыщенность существенно влияет на механизм разрушения горных пород и параметры распространения взрывной энергии.

1. Оптимальный выбор интервала замедления позволяет снизить законтурное повреждение массива и уровень сейсмического воздействия.

2. Применение водостойчивых взрывчатых веществ повышает стабильность детонации и качество дробления.

3. Комплексный учет гидрогеологических факторов обеспечивает повышение эффективности буровзрывных работ и устойчивости откосов карьера.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и корректировке буровзрывных работ в условиях обводненных месторождений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.В. Разрушение горных пород взрывом. – М.: Недра, 1991. – 302 с.
2. Persson P.A., Holmberg R., Lee J. Rock Blasting and Explosives Engineering. – CRC Press, 1994. – 560 p.
3. Jimeno C.L., Jimeno E.L., Carcedo F.J. Drilling and Blasting of Rocks. – Rotterdam: Balkema, 1995. – 391 p.
4. Коня Ц.Дж., Уолтер Э.Дж. Проектирование массовых взрывов. – М: Мир, 1995.–320с.