

вейера почти в 2 раза без увеличения высоты по сравнению с обычным ленточным конвейером при условии использования ленты одинаковой ширины, обеспечивая при этом равную производительность; повысить технические возможности по передаче тягового усилия за счет перераспределения его между тяговыми органами.

Повышение эффективности добычи полезных ископаемых открытым и подземным способом необходимо искать в интенсификации всех процессов и, в частности, работы горного транспорта, так как доля затрат на перемещения полезного ископаемого постоянно возрастает. Поэтому развитие систем и средств транспорта, позволяющих перейти на прогрессивные циклично-поточные и поточные технологии добычи полезных ископаемых, должно привести к созданию оборудования нового технического уровня.

Ин-т геотехн. механики АН Украины,
Днепропетровск

Получено 11.02.92

УДК 622.235:574

Э. И. Ефремов

ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ВЗРЫВНОМ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

Приведен анализ современного состояния и решения вопросов ресурсосбережения и охраны окружающей среды на открытых горных разработках при производстве массовых взрывов. Показано, что взрыв химических взрывчатых веществ (ВВ) по своей природе изначально должен рассматриваться в качестве источника ресурсосбережения как с позиции прямой экономии ВВ, так и в плане повышения КПД взрыва при дроблении пород. В свою очередь, физико-химические параметры ВВ и обеспечение оптимальных режимов детонации являются решающими факторами при решении проблемы борьбы с выбросами вредных газов при взрывах.

Проблема охраны окружающей среды рассматривается как важнейшая и решается комплексно путем реализации в промышленных масштабах организационных и технологических мероприятий.

Процессы разрушения горных пород в горно-добывающей промышленности являются доминирующими, зачастую определяя эффективность отдельных этапов и всего производства в целом. Особую значимость процессы разрушения приобретают при добыче скальных полезных ископаемых, в частности руд черных и цветных металлов.

В самом деле, при отделении полезных ископаемых в добычных забоях начальным процессом становится бурение взрывных скважин (механическое, термическое, термомеханическое разрушение). Последующий процесс — это взрывное разрушение горных пород системой скважинных зарядов. При этом в себестоимости добычи полезных ископаемых открытым способом доля затрат на бурение и взрывание составляет 20—40 %.

Эффективность буровзрывных работ, кроме экономических показателей, характеризуется интенсивностью и равномерностью дробления пород, а также качеством проработки подошвы уступа (завышение отметки подошвы уступа). Несмотря на значительные достижения в вопросах управления интенсивностью дробления пород взрывом отмечаются выход негабаритных фракций и завышение подошвы уступа, ликвидация которых определяет объемы и затраты вторичных буровзрывных работ (бурение шпуров и размещение в них ВВ).

До недавнего времени процессы разрушения пород непосредственно при добыче полезных ископаемых этим и завершались. Трудоемкое и дорогостоящее механическое разрушение горных пород при их дроблении и измельчении (дробильно-обогажительный этап переработки полезных ископаемых) уже

© Э. И. Ефремов, 1993

не относится к добычным процессам. Широкомасштабное внедрение прогрессивной циклично-поточной технологии на карьерах несколько изменило соотношение затрат на механическое дробление скальных полезных ископаемых в сторону увеличения их доли при добыче полезных ископаемых. Это произошло вследствие включения в общую технологическую цепочку дробильных установок (передвижных и стационарных), располагаемых во главе транспортных магистралей (ленточных конвейеров).

Примечательно, что именно взрыв определяет затраты на механическое дробление пород как в карьере, так на дробильно-собогащительной фабрике.

Анализ современного состояния процессов разрушения и отделения скальных полезных ископаемых показывает, что их отделение (разрушение) в настоящее время и на ближайшую перспективу осуществляется и будет осуществляться исключительно с использованием энергии взрыва.

Взрыв, таким образом, является единственным экономически и технологически обоснованным источником и средством разрушения скальных пород и полезных ископаемых на горно-добывающих предприятиях. При этом решение основных задач взрыва по разрушению пород неотделимо от других проблем и прежде всего от ресурсосбережения, экологической надежности и безопасности. Более того, вопросы ресурсосбережения и охраны окружающей среды приобретают первостепенное значение.

Взрыв — уникальное явление с позиции ресурсосбережения и охраны окружающей среды. Элементы ресурсосбережения заложены в самом ВВ — источнике и инструменте разрушения горных пород. Так как полезные формы работы взрыва составляют иногда менее 1—2 % его потенциальной энергии, резервы экономии энергии и ресурсов в данном случае неограничены.

Действительно, создание рационального режима детонации ВВ ведет к повышению КПД взрыва, а следовательно, возможна экономия ВВ или увеличение объемов взорванных пород и качества их дробления. Полнота детонации ВВ создает наиболее благоприятные условия взрывчатого превращения по газовому фактору (уменьшение объемов выброса вредных газов при взрыве). Таким образом, в самой сути взрыва или взрывного разрушения заложены элементы ресурсосбережения и охраны окружающей среды [1, 2]. Выбор эффективных форм работы взрыва и управление его действием определяются технологическими требованиями добычи и переработки полезных ископаемых, т. е. при выборе методов управления действием взрыва необходимо учитывать не только повышение его КПД, но и изменение энергозатрат и потерь на последующих операциях технологического цикла.

Ресурсосберегающая технология взрывных работ на карьерах — это комплекс научно-технических и организационных мероприятий, направленных на снижение непосредственных расходов бурения и ВВ, выхода некондиционного продукта, повышение КПД взрыва на дробление, обеспечение повышения производительности погрузочно-транспортных средств, степени извлечения металла из руд, уменьшение потерь полезного ископаемого, сокращение простоев предприятий из-за массовых взрывов [3].

В связи с этим вопросы ресурсосбережения при взрывной отбойке горных пород и полезных ископаемых следует рассматривать с двух позиций: прямой экономии ресурсов (энергетических и сырьевых) и косвенной (рис. 1).

Под экономией энергетических ресурсов прежде всего понимается рациональное использование энергии взрыва на дробление и перемещение горных пород.

В практической деятельности эта проблема решается комплексом методов управления энергией взрыва, таких, как взрывание высоких уступов в зажатой среде, рациональные схемы взрывания зарядов и их конструкции и др.

Подтверждением тому может быть метод взрывания в зажатой среде, когда, практически без общего увеличения расхода ВВ, в одинаковых условиях обеспечивается улучшение степени дробления пород. Это достигается за счет перераспределения затрат энергии ВВ (уменьшаются затраты энергии на метательное действие) в пользу затрат непосредственно на дробление.

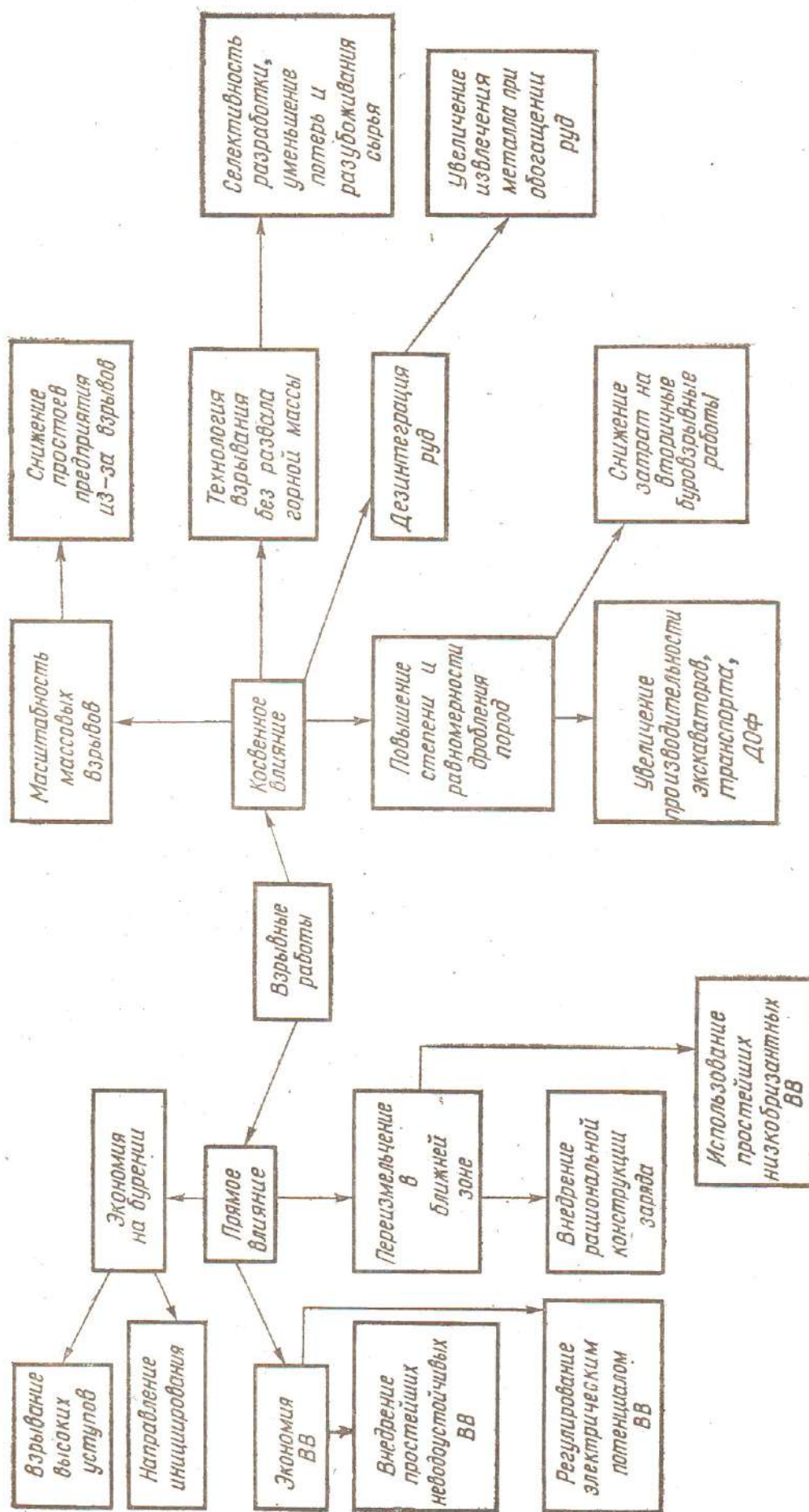


Рис. 1. Влияние взрывных работ на ресурсосбережение

Методы взрывных работ непосредственно влияют на выбор сетки скважин и величину перебура. Рациональное размещение системы скважинных зарядов и очередность их взрывания, переход на взрывание высоких уступов, выбор направления и очередности инициирования зарядов ВВ позволили не только расширить сетку скважин, но и уменьшить величину их перебура. Как следствие, достигается прямая экономия объемов бурения. За этим стоит экономия материальных ресурсов, в том числе дорогостоящих твердосплавных металлов (шарошечные долота). Только переход на взрывание высоких уступов (совмещение двух уступов по 15 м) дает экономию до 8 % буровых скважин. При годовом объеме бурения по карьере ЮГОКа около 400 тыс. п. м создаются условия для экономии более 150 тыс. руб.

Кроме того, вдвое сокращается расход детонирующего шнура на магистральные линии, количество пиротехнических замедлителей и забоечного материала.

Внедрение метода внутрискважинных замедлений на карьерах нерудной промышленности в породах крепостью $f = 8 \div 12$ обеспечило уменьшение перебура скважин на 30—50 %.

Значительная экономия сырьевых и энергетических ресурсов возможна при обоснованном выборе типа ВВ и их экономии вследствие использования методов, обеспечивающих рациональные режимы детонации ВВ.

Основной путь решения данной проблемы — широкомасштабное внедрение простейших аммиачно-селитренных ВВ в различных горно-геологических и гидрогеологических условиях. При этом достигается не только экономия дорогостоящих тротилосодержащих ВВ, но и обеспечивается сокращение зоны пластических деформаций (переизмельчение породы). Последнее является важным не только с позиции сокращения отходов производства (для гранитных и флюсовых карьеров), но и с позиции рационального использования энергии взрыва, так как затраты энергии ВВ в зоне переизмельчения в большей части бесполезные.

Уменьшение расхода ВВ и переизмельчения в ближней зоне заряда достигается за счет перераспределения энергии взрыва и снижения пика максимального давления рассредоточением скважинных зарядов воздушным промежутком. Подобные результаты по интенсивности и равномерности дробления пород достигнуты при взрывании флюсовых известняков и доломитов зарядами с внутрискважинным замедлением. Важно, что при этом в условиях Докучаевского флюсо-доломитного комбината отмечено снижение выхода некондиционных фракций.

Заслуживает внимания эффект влияния потенциала электрического поля на величину полезной работы ВВ в разрушении пород. Исследования, проведенные в ИГТМ АН Украины, показали, что при этом можно на 12—20 % увеличить полезную работу заряда ВВ. С одной стороны, это значительное повышение КПД взрыва, а с другой — возможность экономии 10—15 % объемов используемых ВВ на горно-добывающих предприятиях.

Пути широкого использования простейших аммиачно-селитренных ВВ определяются условиями взрывания. В необводненных породах это комбинированные скважинные заряды, взрывание смежных скважинных зарядов из разных типов ВВ с высокими и низкими взрывными характеристиками.

В условиях железорудных карьеров Кривбасса за счет использования простейших ВВ достигнуто снижение на 10—12 руб. стоимости разработки 1000 м³ горных пород.

При взрывании обводненных горных пород использование простейших аммиачно-селитренных ВВ возможно за счет предварительного осушения скважин, заряжания под столб воды, гидроизоляции неводоустойчивых ВВ. Предварительное осушение участка месторождения фланговыми траншеями из взорванной горной массы, осуществленное в условиях карьера ИнГОКа, обеспечило снижение расхода дорогостоящего гранулолита с 86 до 49 % от общего объема используемого ВВ. При этом на 30 % возросла проходка на долото и достигнута экономия твердосплавного материала [4].

По данным [5] использование полиэтиленовых рукавов для гидроизоляции неводоустойчивых ВВ (в условиях известнякового карьера граммонит

30/70 заменен граммонитом 79/21-В) обеспечило экономию 100 руб. на 1000 м³ взорванной горной массы.

Косвенное влияние взрывных работ на ресурсосбережение проявляется через интенсивность дробления пород: зависимость производительности погрузочно-транспортных средств, дробильно-измельчительного оборудования от кусковатости пород, влияние на извлечение металла при обогащении руд и др. Например, снижение содержания фракций дробления более 500 мм во взорванной горной массе всего на 16 % привело к росту производительности дробилки на фабрике НКГОКа на 42 %.

Значительная экономия средств достигается при укрупнении массовых взрывов и сокращении их количества, что ведет к снижению простоев предприятий из-за взрывов.

Одним из наиболее результативных элементов ресурсосберегающих технологий является снижение потерь и разубоживания руд. Установлено [6], что по своей экономической эффективности решение проблемы снижения потерь и разубоживания руд превосходит даже решение проблемы повышения на горных работах производительности труда: если повышение производительности труда на 1 % снижает стоимость конечного продукта всего на 0,2 %, то снижение каждого процента разубоживания снижает стоимость готовой продукции на 2 %, а каждого процента потерь — на 5 %.

Исследования последних лет по изучению влияния кратности нагружения массива горных пород энергией взрыва показали, что при этом не только улучшается степень дробления пород, но и снижается контактная прочность зон срастания рудных минералов с кварцем. Увеличение удельного расхода ВВ до 1,7 кг/м³ обеспечило прирост содержания железа на выходе до 0,5 % [7].

Концентрация горных работ и интенсификация всех производственных процессов, характерные для современных горно-добывающих предприятий, сопровождаются увеличением глубины разработки и усложнением процесса проветривания забоев, ухудшением условий труда по пылевому и газовому факторам.

На буровзрывные работы приходится 35 % от общего объема загрязнения атмосферы карьера. При производстве одного крупного массового взрыва в атмосферу выбрасывается продуктов разрушения, полученных в процессе бурения скважин, а также в виде забоечного материала общей массой до 3000 т, в том числе около 800 т пылевых частиц. Помимо того, к указанным объемам необходимо прибавить и пылевые частицы, образованные в результате непосредственного разрушения массива энергией ВВ [8].

Объем сформировавшегося при взрывах 200—300 т ВВ пылегазового облака достигает 15—19 млн. м³, которое под действием атмосферных потоков перемещается на расстоянии до 15 км [9, 10].

В настоящее время разработан комплекс технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение интенсивности пылегазовых выбросов при взрывных работах на карьерах (рис. 2).

Источником ядовитых газов при взрыве являются ВВ. Основное направление снижения объема этих выбросов — широкое внедрение простейших аммиачно-селитренных ВВ типа игданит, имеющих нулевой или близкий к нулевому кислородный баланс.

Наиболее эффективным направлением борьбы с пылью и газами при взрывных работах на карьерах признан переход на взрывание обычных и высоких уступов в зажатой среде. Этот метод аккумулирует в себе несколько технологических приемов, каждый из которых располагает достоинствами экономического и экологического плана.

С точки зрения экологии взрывание высоких уступов обеспечивает значительное уменьшение пылегазовых выбросов. Как показали лабораторные исследования, при увеличении высоты уступа с 15 до 60 м удельная концентрация пыли на 1 кг дробленого продукта снизилась на 20 %. По данным исследований [9] концентрация пыли при взрывании на рудном карьере уступа высотой 10 м составила 3300 мг/м³, а при взрывании уступа 24 м — сократилась до 1700 мг/м³. Высота пылегазового облака при взрывании высоких

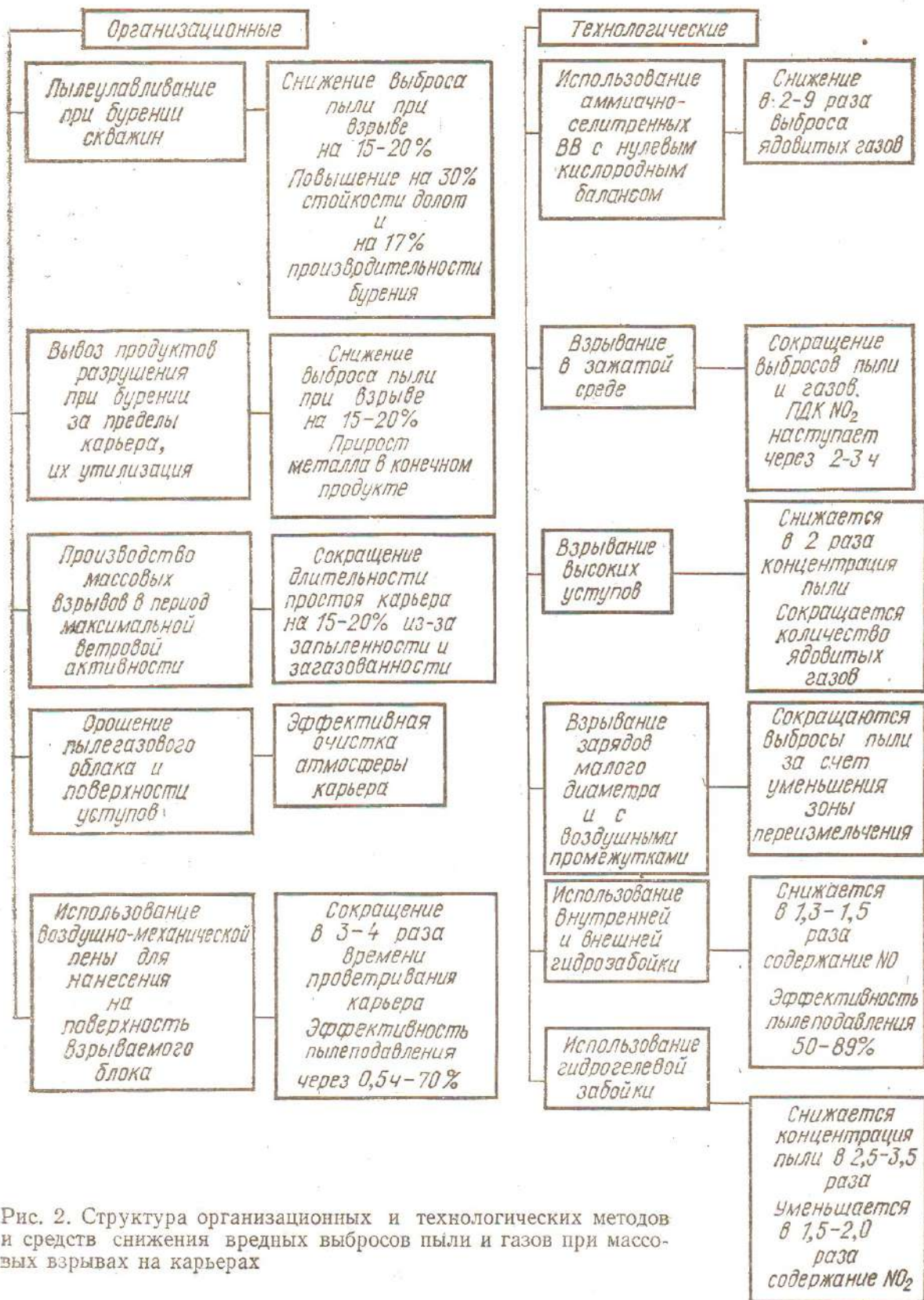


Рис. 2. Структура организационных и технологических методов и средств снижения вредных выбросов пыли и газов при массовых взрывах на карьерах

уступов уменьшается в 1,25—1,5 раза по сравнению с обычными уступами. Снижению концентрации пыли, отсутствию вторичного пылегазовыделения во многом способствует наличие подпорной стенки из ранее взорванной горной массы (взрывание в зажатой среде).

Так как важнейшим источником выхода пыли на карьерах является буровая мелочь (продукт разрушения шарошечными долотами), прежде всего решаем эту проблему.

На наш взгляд, это возможно решить путем улавливания буровой мелочи при бурении скважин, накопления ее и вывоза за пределы карьера. Одновременно решается вопрос увеличения стойкости шарошечных долот и повышения производительности бурения. В результате, по нашим расчетам,

на 15—20 % уменьшается выброс пыли в атмосферу карьера при массовых взрывах.

Снижение выброса пыли и ядовитых газов при взрывных работах решается за счет использования ВВ простейшего состава (на основании аммиачно-селитренных ВВ). Это объясняется их нулевым кислородным балансом (минимальный выход ядовитых газов) и низкой бризантностью. В результате значительно сокращается зона пластических деформаций (зона переизмельчения) вокруг каждого скважинного заряда. Таким образом, мы решаем проблему образования пыли при взрыве единичного заряда ВВ и в целом системы зарядов.

Регулирование зоной пластических деформаций и равномерностью дробления пород возможно за счет диаметра скважинного заряда, как следствие — сокращение объема пылевыведений.

Уменьшение объема пылевыведений при переходе на малые диаметры зарядов подтверждается исследованиями высоты подъема пылегазового облака в зависимости от диаметра заряда. Если при диаметре скважины 105 мм через 4 с высота подъема пылегазового облака достигала 60 м, то при диаметре заряда 320 мм она составила более 100 м.

При малых рабочих площадках на глубоких горизонтах карьеров, когда особенно важным является управление действием единичного заряда, серьезного внимания с позиции экологии заслуживают конструкция заряда и забойка скважины.

Взрывание удлиненного скважинного заряда без забойки при разрушении крепких магматических пород в условиях Алмалыкского горно-металлургического комбината привело к выбросу пыли и газов на высоту 70—150 м.

Рассредоточение зарядов воздушными и инертными промежутками позволило в несколько раз снизить удельный объем газов и пыли. Существенно уменьшилась начальная скорость вылета продуктов взрыва из скважины, а высота выброса составила не более 80 м.

Как показали лабораторные исследования, при взрывании зарядов без забойки из зарядной полости выбрасывается до 65 % газообразных продуктов, а при взрывании с забойкой — только 8—10 %.

Внутренняя забойка длиной 1 м, сформированная в приустьевой части скважины, и внешняя забойка высотой 0,7—1,0 м, расположенная над устьем скважины, снижают скорость вылета продуктов взрыва в несколько раз, а процесс вылета газов начинается на 30—40 мс позже по сравнению с вариантом взрывания без забойки. Выбор эффективных, малозатратных экологических способов должен базироваться на подавлении выбросов непосредственно в момент взрыва, способных сократить их количество и значительно погасить высоту подъема формируемого пылегазового облака. Этим требованиям отвечает использование забоек на жидкостной основе: внутренняя и внешняя гидрозабойка скважин, гидрогелевая забойка и др.

Анализ данных кинорегистрации процесса формирования пылегазового облака при использовании внешней гидрозабойки (вкладыши и рукава с водой) показал, что при этом средняя скорость вылета газов и забойки из скважины уменьшается в среднем на 30—40 %, а максимальная высота подъема — в 3—4 раза. За счет коагуляции оптическая плотность облака быстро уменьшается. Эффективность пылеподавления при этом составляет — 33—55 %, а газоподавления — 32—64 %. Снижение высоты подъема пылегазового облака при взрыве практически исключает рассеивание пыли за пределами карьера.

Внутренняя гидрозабойка позволяет максимально снизить выбросы пыли и газов. Гидрогелевая забойка (водный раствор жидкого стекла и отвердителей) при взрыве превращается в жидкую фазу, которая, распыляясь, смешивается с пылью, смачивает ее. При расходе на одну скважину от 100 до 300 кг гидрогеля средняя эффективность пылеподавления составляет 58 %.

Перспективным для подавления пылегазовых выбросов при взрыве является использование воздушно-механической пены. Испытания в промыш-

ленных условиях показали, что эффективность пылеподавления происходит через 2,5 мин и составляет 62 %.

Таким образом, методы и средства, направленные на ресурсосбережение и охрану окружающей среды при производстве массовых взрывов на карьерах, органически связаны. Использование простейших ВВ снижает затраты на взрывные работы, уменьшает объемы некондиционной продукции и выбросов ядовитых газов в атмосферу.

Взрывание высоких уступов в зажатой среде сокращает расход бурения, средств взрывания и забоечного материала при одновременном снижении пылегазовыделений в атмосферу карьера. Это свидетельствует о идентичности решения сложных проблем ресурсосбережения и охраны окружающей среды на карьерах.

1. *Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород* / Э. И. Ефремов, В. М. Комир, И. А. Краснопольский и др. — Киев : Техніка, 1990. — 149 с.
2. *Ефремов Э. И.* Ресурсосберегающие, экологически надежные технологии взрывного разрушения горных пород на карьерах // Материалы Междунар. конф. по металлургии и горному делу. — Эдинбург, 2—6 июля 1990. — Эдинбург, 1990. — С. 439—448.
3. *Академическая наука — горное производство* // Горн. журн. — 1991. — № 5. — С. 29—34.
4. *Ефремов Э. И., Джос В. Ф.* Повышение эффективности буровзрывных работ на обводненных горизонтах карьера ИнГОКа // Там же. — 1976. — № 2. — С. 59—60.
5. *Галкин В. В.* Заряжание обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ // Там же. — 1980. — № 3. — С. 40—41.
6. *Мосинец В. Н.* Новые ресурсосберегающие технологии разработки руд цветных металлов. — М. : ИПКОН АН СССР, 1988. — 19 с.
7. *Демидюк Г. П., Викторов С. Д., Фугзан М. М.* Влияние взрывного нагружения на эффективность последующих этапов обогащения // Взрыв. дело. — 1986. — № 89/46. — С. 116—121.
8. *Ефремов Э. И.* Проблемы охраны окружающей среды при массовых взрывах на карьерах // Вісник АН України. — 1989. — № 11. — С. 64—70.
9. *Борьба с пылью в рудных карьерах* / В. А. Михайлов, П. В. Бересневич, В. Г. Борисов, А. И. Лобода. — М. : Недра, 1981. — 262 с.
10. *Ефремов Э. И.* Проблемы охраны окружающей среды при крупномасштабном взрывании на карьерах СССР // Материалы Междунар. конф. по взрывной технике. — Линц, 25—27 ноября, 1987. — Линц, 1987. — С. 1—9.

Ин-т. геотехн. механики АН Украины,
Днепропетровск

Получено 10.01.92

УДК 622.275(088.8)

А. Ф. Булат

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

На основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований особенностей поведения предельно-напряженных пород при наложении дополнительных слабых воздействий предложено принципиально новое направление научных исследований — изменение состояния горного массива малоэнергоёмкими механическими и физическими воздействиями, реализующими дозированное высвобождение потенциальной энергии горного массива при разработке пластов на больших глубинах.

Усложнение горно-геологических условий добычи полезных ископаемых ставит ряд важнейших проблем, основу решения которых призвана обеспечить геомеханика. Наиболее актуальны проблемы эффективного разрушения прочных пород, предотвращения разрушения массива вокруг подземных сооружений и поддержания последних, предотвращения динамических проявлений горного давления и др. Общим для указанных проблем является процесс разрушения, а различие состоит в предотвращении или направленном переводе в устойчивый контролируемый режим в одних случаях и иници-

© А. Ф. Булат, 1993