

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МЕХАНИКИ ВЗРЫВА И ТЕХНОЛОГИЙ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Отдел механики взрыва горных пород Института геотехнической механики НАН Украины был создан в 1962 г. Возглавил его доктор техн. наук, проф. М.Ф. Друкованый, а с 1974 г. отделом руководит член-корр. НАН Украины д.т.н., проф. Э.И. Ефремов.

Основная научная направленность отдела – исследование физической сущности процессов и механики разрушения твердой среды взрывом; изучение процессов детонации и связанных с ними явлений, обуславливающих газовыделение и электромагнитное излучение; создание высокоэффективных методов управления энергией взрыва с целью повышения интенсивности дробления горных пород для внедрения циклично-поточной и поточной технологии добычи на карьерах; разработка теоретических основ и средств управления действием взрыва при ведении буровзрывных работ в напряженных и выбросоопасных породах в условиях глубоких шахт Донбасса; разработка средств и способов комплексной механизации взрывных работ.

Успешное решение поставленных задач возможно только при наличии высококвалифицированных кадров и экспериментальной базы (уникальное лабораторное оборудование, новые методики исследования, промышленная полномасштабная проверка результатов исследований).

Экспериментальная база отдела в первые же годы была оснащена тремя сверхскоростными фотографирующими установками (СФР-1) для исследований быстропротекающих процессов, уникальной электромагнитной установкой для моделирования процесса разрушения твердых сред, электровзрывной установкой, взрывной камерой, современными осциллографами, оригинальными испытательными стендами и др. аппаратурой, а в дальнейшем голографической установкой, и стала одной из лучших в стране.

За пять начальных лет сотрудниками отдела было защищено несколько кандидатских и одна докторская диссертация (1967 г.). А всего с момента создания отдела 42 его сотрудника защитили кандидатские диссертации и четыре – докторские диссертации (М. Друкованый, В. Комир, Э. Ефремов, В. Петренко).

Наличие в отделе кадров высшей квалификации и достаточно мощной экспериментальной базы обеспечило возможность успешного решения крупных научных

и прикладных задач, что позволило отделу занять ведущее место в стране по ряду научных направлений, а именно:

1. «Механизм разрушения хрупких сред энергией взрыва».

– На основе экспериментальных исследований впервые подтверждено, что основными физическими факторами, определяющими степень дробления пород взрывом, является пиковое давление во фронте детонационной волны и время приложения взрывной нагрузки к разрушаемой среде. При этом, при номинальном давлении решающим оказывается продолжительность взрывной нагрузки.

Базируясь на данном положении, были обоснованы и разработаны новые высокоэффективные методы взрывного дробления горных пород.

– Разработаны основы статистической теории дробления хрупких сред под действием импульсивных нагрузок, которые позволили создать предпосылки для прогнозирования гранулометрического состава взорванной горной массы.

– Определены радиусы зон дробления горных пород в зависимости от их физико-механических свойств и характеристик ВВ, а также установлена зависимость между гранулометрическим составом горной массы и размерами зон взрывного дробления для трещиноватых массивов горных пород.

– Разработана методика определения массовых скоростей смещения частиц при взрыве с помощью электромагнитной установки, впервые использованной для этой цели.

– Разработана математическая модель процесса взрывного разрушения и установлены критерии подобия для моделирования разрушающего действия взрыва.

– Разработана методика моделирования разрушения дисперсных сред при ударном нагружении и характеристик дробления в зависимости от скорости перед ударом, угла встречи с жесткой преградой и физико-механических свойств разрушаемого материала.

– Экспериментально показано, что в распределении гранулометрического состава после взрыва наблюдаются максимумы, соответствующие размерам исходных неоднородностей (отдельностей).

– Впервые экспериментально установлена ранее неизвестная закономерность изменения механической работы (дробление, уплотнение, метательное действие и др.), производимой взрывом зарядов ВВ, при изменении электрического потенциала, возникающего при взрыве, что позволяет разработать эффективные методы по-

вышения КПД взрыва при дроблении горных пород. Эти результаты явились основой заявки на предполагаемое открытие.

– Экспериментальным путем на моделирующих материалах впервые оценена доля участия каждого из факторов (волн напряжений, газообразных продуктов взрыва, эффект соударения отдельностей), определяющих механизм разрушения, в общей работе взрывного дробления блочных трещиноватых сред (доля газообразных продуктов взрыва в дроблении блочных сред достигает 80%).

– Экспериментально установлено, что при разрушении твердых сред взрывом заряда ВВ скорость развития трещин и движения газов на порядок больше скорости разлета осколков и на два порядка больше общей скорости движения среды. Доказано, что скорости протекания этих процессов не зависят от масштабного фактора, что указывает на наличие обобщенных энергетических и кинематических констант, характеризующих процесс разрушения твердых сред взрывом.

– Экспериментально установлено, что при взрывном нагружении различной интенсивности пород и руд разрушения происходит по контактам зерен рудного материала и дефектом строения безрудного материала. При этом наибольшее влияние на разрушение оказывает не слоистость, а плоскости кливажа.

– Экспериментально установлено, что при динамическом нагружении (механическое и взрывное) полиминеральных сред наблюдается избирательный характер разрушения компонентов, обусловленный особенностями внутреннего строения. При этом наибольший выход мелкодисперсных частиц наблюдается в кварцосодержащих породах.

2. «Разработка новых эффективных методов интенсификации дробления горных пород, обеспечивающих применение циклично-поточной и поточной технологии открытых горных работ»

Разработаны теоретические основы и методы управления энергией взрыва, обеспечивающие заданную с позиции эффективного внедрения циклично-поточной технологии горных пород, степень дробления пород, управляемый развал взорванной горной массы, минимальный сейсмический эффект и вредные пылегазовые выбросы в атмосферу карьера.

При этом:

– исследовано влияние структурных особенностей массива на процесс его разрушения и созданы эффективные методы управления действием взрыва в породах со сложными горно-геологическими условиями;

- теоретически обоснована эффективность взрывания удлиненных скважинных зарядов (взрывание высоких уступов), обеспеченная общим увеличением времени действия взрыва на разрушаемый массив, разработаны основные параметры взрывания с учетом физико-механических свойств горных пород, и осуществлено крупномасштабное внедрение на карьерах Украины;

- теоретически обоснована эффективность метода взрывания в зажатой среде и его основные параметры с позиции интенсивности дробления пород и управления развалом взорванной горной массы, что предопределено перераспределением энергии взрыва с метательного на дробящее действие. Метод взрывания в зажатой среде (на подпорную стенку из ранее взорванной горной массы) широко используется на железорудных карьерах и карьерах нерудной промышленности;

- обоснованы, созданы и внедрены рациональные конструкции скважинных зарядов и забойки (заряды с внутрискважинным замедлением, система сосредоточенных зарядов по высоте уступа, удлиненных зарядов с учетом их взаимодействия и разнонаправленности инициирования, комбинированные скважинные заряды с использованием ВВ на основе конверсии и т.д.);

- разработана сейсмобезопасная технология буровзрывных работ, позволяющая снизить сейсмичку массовых взрывов, заключающаяся в выборе оптимальных параметров буровзрывных работ и рациональном расположении добычных горизонтов и фронта отбойки;

- разработаны способы дифференцированного применения ВВ с различными взрывными характеристиками, включая простейшие, обеспечивающие увеличение числа циклов нагружения и разноградиентное воздействие на горный массив;

- разработаны и прошли опытно-промышленную проверку способы и технологические приемы пылегазоподавления при производстве массовых взрывов в карьерах (диспергирование жидкости на поверхности взрываемого уступа, комбинированные забойки скважин, встречное инициирование скважинных зарядов, «активная забойка», технологии взрывания с использованием низкобризантных ВВ (пороха) и утилизации продуктов разрушения при бурении скважин и т.д.), обеспечившие снижение в 1,5-2,0 раза загрязнения атмосферы карьера.

3. «Разработка научных основ и эффективных методов буровзрывных работ при отбойке напряженных выбросоопасных пород на глубоких шахтах Донбасса»

- Получено аналитическое решение задачи по определению максимальных динамических напряжений, способствующих развязыванию выбросов породы.

- Разработана методика и впервые выполнены экспериментальные работы по фоторегистрации процесса развития выброса породы в шахтных условиях.
- Выполнено математическое описание процесса разрушения напряженных выбросоопасных пород под действием динамических нагрузок. Исследован характер распределения динамических напряжений в области выработки и влияние его на частоту проявления и интенсивность выбросов породы и газа.
- Теоретически установлена взаимосвязь параметров взрывного импульса с потенциальной упругой энергией напряженного массива при разрушении, что позволяет более полно раскрыть механизм выброса угля и породы в смешанном забое.
- Экспериментально (на стенде выбросоопасного разрушения газонасыщенных угольных образцов) установлено критическое значение динамических напряжений при взрыве заряда ВВ, обуславливающих выброс.
- Теоретически обоснованы принципы использования кумулятивного и гидродинамического эффектов при целенаправленном перераспределении энергии взрыва с целью снижения интенсивности выбросов породы.
- Разработаны и внедрены в промышленность новые конструкции шпуровых зарядов с демпфирующей прокладкой для направленного разрушения выбросоопасных пород, а также способ отбойки выбросоопасных пород в пределах проектного сечения выработки за счет использования энергии упругих деформаций напряженного массива и ударной воздушной волны у донной части шпура, позволяющих снизить частоту и интенсивность выбросов породы, а также повысить в 1,5-2 раза темпы проведения выработок в глубоких шахтах.
- Разработаны способы образования врубовой полости и отбойки пород с учетом напряженно-деформированного состояния призабойной области горного массива и особенностей его разрушения, позволяющие повысить коэффициент использования шпуров, уменьшить удельный расход ВВ, объем бурения и средств взрывания, а также увеличить глубину взрываемых шпуров.

4. «Исследование механизма детонации промышленных ВВ»

- Установлены основные параметры детонации промышленных ВВ и определено влияние различных примесей на устойчивость процесса детонации.
- Исследован механизм передачи детонации от промежуточных детонаторов заряду ВВ и установлены условия устойчивого течения детонации.
- Исследована природа повышения эффективности детонации водонаполненных водостойчивых гранулированных ВВ и доказано, что увеличение скорости

детонации, снижение чувствительности и детонационной способности, повышение бризантности и энергии взрыва достигается за счет изменения механизма детонации заряда ВВ. Этот вывод имеет большое практическое значение при ведении взрывных работ в породах высокой обводненности.

- Установлены временные характеристики миграции жидкого горючего компонента ВВ простейшего состава в зависимости от размеров частиц твердой фазы и разработан способ стабилизации физических свойств простейших ВВ за счет введения в твердую фазу аммиачной селитры мелких (размер менее 1 мм) частиц селитры.

- Установлено влияние типа ВВ, его плотности, скорости детонации и конструкции заряда ВВ на амплитуду, длительность и частотный спектр электромагнитного излучения при взрыве.

- Впервые исследованы основные энергетические и экологические характеристики взрывных материалов на основе конверсии (баллиститные и пироксилиновые пороха) и установлена область их рационального применения на горнодобывающих предприятиях.

- Разработаны и испытаны в промышленных условиях ВВ с низким содержанием тротила (горячельющиеся ВВ), обеспечивающие высокое качество дробления пород, снижение пылегазовых выбросов в атмосферу карьера и затрат на производство работ.

5. «Создание новых средств для комплексной механизации взрывных работ»

- Разработаны схемы комплексной механизации взрывных работ для открытых горных работ с использованием гранулированных ВВ.

- Созданы и внедрены на карьерах страны транспортно-зарядные машины с самотечно-принудительной выгрузкой ВВ (типа МЗ-8) и самоходная растаривающая машина МПР-30 и стационарная растаривающая установка.

Приведенные выше материалы далеко не в полной мере освещают результаты исследований и их реализацию в промышленности, которые осуществлены сотрудниками отдела механики взрыва.

Важнейшим направлением исследований сотрудников отдела в последние годы явилась проблема охраны окружающей среды при производстве массовых взрывов в карьерах. Проблема решается комплексно – на всех стадиях подготовки и проведения взрыва, что дает хорошие результаты.

Следует отметить тот факт, что отдельные фундаментальные результаты исследований, относящиеся к изучению основных параметров взрывного импульса, механизма разрушения трещиноватых сред, роли волн напряжений и газообразных продуктов взрыва в их разрушении и др. по своей значимости не имеют аналогов в мировой науке и практике и активно используются при разработке новых технологий добычи полезных ископаемых.

Взрывные технологии обеспечивают высокое качество дробления пород, возможность управления их развалом при взрыве, ресурсосбережение за счет расширения масштабов внедрения простейших ВВ и сокращения объема бурения, а также уменьшение вредных пылегазовых выбросов в атмосферу карьера.

Широкомасштабное использование комплекса методов взрывного дробления пород стало одной из основных предпосылок для успешного внедрения прогрессивной циклично-поточной технологии горных работ на железорудных карьерах Украины. В 1983 г. за решение этой крупной научно-технической проблемы группе ученых и производственников была присуждена Государственная премия УССР в области науки и техники (среди них сотрудники Института – Б.Н. Тартаковский и Э.И. Ефремов).

В 1989 г. за цикл работ «Механика взрывного и гравитационного разрушения и перемещения горных пород» группа ученых (Э.И. Ефремов, А.Г. Шапарь, В.М. Комир) была удостоена премии Президиума АН УССР им. А.Н. Динника.

Наконец, в 1997 г. группе специалистов-взрывников за комплекс работ в области горнодобывающей и химической промышленности присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники (в т. ч. сотрудники Э.И. Ефремов и В.Д. Петренко).

Несомненные достижения отдела механики взрыва в научном и прикладном плане стали возможны, благодаря высокой квалификации специалистов собственного отдела, тесной связи с промышленными предприятиями горнодобывающей отрасли, учеными Украины, России, Грузии, Киргизии, Казахстана и Белоруссии, а также со специалистами Германии, Италии, Югославии, Болгарии, Венгрии, Чехии и др.

Возможность свободного общения, обмена информацией и личных контактов специалистов-взрывников, с учетом улучшения экономической ситуации в стране, на наш взгляд, могут стать хорошей основой для дальнейшего развития взрывного дела в Украине.