

А. Н. Зорин

**УПРАВЛЯЕМОЕ ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЭНЕРГИИ
ГОРНОГО МАССИВА — ОСНОВА ТЕХНОЛОГИЙ
БУДУЩЕГО**

Обоснована необходимость развития эффективного направления совершенствования технологий подземной добычи полезных ископаемых — учет и участие энергии сил горного давления в технологических процессах проведения выработок и очистных работ. Изложены результаты разработки новых принципов, способов и средств ведения горных работ с управляемым освобождением энергии горного массива на базе открытой «Закономерности разрушения горных пород в подземных условиях» (открытие № 337), намечены пути дальнейшего развития исследований и практических решений как в направлении управления освобождением, так и использования энергии горного массива.

Увеличение гравитационного давления, а в связи с ним и давления, насыщающего горный массив газа, связанное с непрерывным понижением глубины добычи полезных ископаемых, резко обостряет, прежде всего, проблему обеспечения безопасности горных работ. Основные вопросы этой проблемы связаны с проявлением горного давления в больших деформациях и динамическом разрушении массива в приконтурных зонах. Особенно сложные и непредсказуемые в последствиях — выбросы угля, породы и газа, горные удары. Эти явления, как правило, связаны с внезапным, кратковременным преобразованием больших запасов накопленной массивом энергии в лавинообразном разрушении и движении значительных объемов горной массы в свободном выработанном пространстве.

Таким образом, силы горного давления производят огромную работу, которая при неуправляемых процессах освобождения энергии при ведении горных работ реализуется в различных отрицательных проявлениях, связанных с разрушением горного массива, тогда как, при проведении горных выработок и выемке полезных ископаемых приходится затрачивать огромное количество энергии на разрушение и дробление. Достаточно сказать, что при проведении выработок по породам с пределом прочности при сжатии 60—70 МПа для разрушения требуется энергия 15—20 МДж/м³, причем с увеличением прочности энергозатраты на разрушение растут, и уже при прочности пород 170—190 МПа требуется затратить 50—70 МДж/м³.

Накопленный в Украине опыт разработки полезных ископаемых в условиях выбросоопасности с применением трудоемких, дополнительных к основному технологическому циклу, мероприятий, основанных на противостоянии или уменьшении величины энергии сил горного давления, показывает, что необходимы принципиально новые решения в технике и технологии ведения горных работ. И реализованы они могут быть на основе активного вмешательства в процессы энергетических преобразований при ведении горных работ.

Многолетние теоретические, шахтные экспериментальные и лабораторные исследования и представление на их основе горного массива, при ведении работ активной энергетической системой, позволили установить ранее неизвестную закономерность разрушения пород в подземных условиях [1]: при возрастании скорости перемещения поверхности обнажения породного массива повышается интенсивность хрупкого разрушения пород в призабойной области, обусловленная концентрацией и локализацией сил горного давления в этой области. Обнаруженное явление открывает новое научное направление в горном деле — управляемое освобождение и использование энергии горного массива при добыче полезных ископаемых на больших глубинах и в сложных горно-геологических условиях. При ведении горных работ управление освобождением энергии и ее использование достигаются регламентацией технологических параметров во времени и пространстве. За счет их

рационального выбора достигаются условия безопасности горных работ, причем выбор этот не может быть универсальным, он специфичен для конкретных условий ведения горных работ.

Выполненные исследования легли в основу прогрессивных способов повышения безопасности горных работ при проведении выработок и добыче угля в условиях выбросоопасности, основанных на управляемом освобождении эн. ргии. Так, при проведении выработок на больших глубинах по напряженным прочным выбросоопасным породам предотвращение выбросов породы и газа достигается управляемым освобождением энергии горного массива путем регулирования (изменения) скорости перемещения поверхности обнажения (скорости проходки) и формы поверхности обнажения (забоя). Например, для условий Донбасса предотвращение выбросов достигается при криволинейной форме забоя с глубиной полусферы $l = 0,3 ВД$ и скорости проходки $v = 0,91/l$ (здесь $В$ — категория (критерий) выбросоопасности пород, $Д$ — диаметр выработки). При этом происходит разрушение пород с пределом прочности при сжатии до 150 МПа, снижение энергозатрат на отбойку горной массы и повышение производительности труда в 3—4 раза.

Эти данные составили основу безопасной технологии проведения выработок по выбросоопасным породам, являющейся в настоящее время на Украине нормативной, и использованы при создании проходческих комбайнов роторного типа КРТ и комплексов К-20 с автоматизированной системой управления. Разрабатываемая система управления позволит задавать рациональную скорость подачи рабочего органа на забой и его оптимальную форму. В качестве информации, получаемой из массива, используются сигналы акустической эмиссии, излучаемые разрушаемой породой, и динамика газовыделения в проходимую выработку. Состояние массива определяется методом распознавания образов. Создание указанных проходческих комплексов позволит разработать эффективную технологию проведения подготовительных выработок на больших глубинах.

Использование основ механики пористых насыщенных сред позволило представить модель поведения горного массива гетерогенной газонасыщенной средой и изучить в первом приближении процессы изменения состояния пород при технологическом нарушении равновесия [2, 3], установить динамический скачкообразный характер перехода горного массива в новое равновесное состояние при образовании новой свободной поверхности или силовом воздействии на нее [4]. Исследования, выполненные под руководством В. Г. Колесникова, показали, что динамику горного давления и величину возникаемых в процессе ведения горных работ динамических напряжений можно регулировать технологическими параметрами отторжения массива или воздействия на него, тем самым определяя участие энергии горного давления в разрушении. Исходя из результатов исследований решен ряд задач, связанных с определением напряженно-деформированного состояния при различном технологическом воздействии и успешно разрабатываются способы управляемого воздействия на горный массив с целью снижения выбросоопасности, а также нетрадиционные способы ведения горных работ.

Учитывая принцип, изложенный в открытии № 337, разработан нетрадиционный способ гидроимпульсной добычи угля [5] и разгрузки угольных пластов [6], который основан на том, что при почти мгновенном импульсном воздействии на свободной поверхности пласта провоцируется спонтанно хрупкое разрушение угля, т. е. искусственный выброс угля и газа, развитие и протекание которого определяется параметрами воздействия. Управляя процессом и объемом разрушения, при импульсном воздействии через скважины представляется возможность добывать уголь нетрадиционным способом с использованием в процессах его разрушения энергии горного массива и находящегося под давлением в массиве газа. В результате теоретических исследований и экспериментальных работ доказана возможность добычи угля гидроимпульсным способом, создана математическая модель, описывающая этапы процесса гидроимпульсного воздействия, установлены параметры реализации способа на экспериментальном участке. При реализации способа в ходе экспериментальных работ добыто более 300 т угля.

Использование нетрадиционного экологически чистого скважинного способа добычи угля открывает перспективу получения угля и забалансовых угольных месторождений. Этот способ исключает присутствие людей в забое, что позволяет разрабатывать особовыбросоопасные некондиционные по мощности пласты и защитные пласты, создавая разгруженные зоны в выбросоопасных угольных массивах. Реализация способа позволяет увеличить производительность труда в 3—5 раз, повысить безопасность работ за счет безлюдной выемки угля, отработать так называемые «брошенные» пласты на вышележащих горизонтах, практически полностью автоматизировать процесс добычи угля. Этот способ является основой прогрессивной и безопасной технологии добычи угля в особо сложных условиях.

Поиск новых способов управления состоянием горного массива, базирующихся на использовании физических полей различной природы, привел к идее воздействия на массив акустическими колебаниями широкого диапазона параметров. Влияние упругих волн малой амплитуды на изменение состояния и свойств горных пород уже доказано. Исследователями Института горного дела им. А. А. Скочинского получены качественные зависимости повышения газоотдачи углей при воздействии на них упругими волнами. Результаты лабораторных исследований показали, что проницаемость песчаников для жидкости увеличилась почти в 7 раз при воздействии ультразвуком интенсивностью $1,0 \text{ Вт/см}^2$ [7].

Достоинством обработки горного массива упругими волнами акустической природы является возможность варьирования широким диапазоном частот и интенсивности звуковой волны. Это позволяет влиять на состояние горных пород от молекулярного до макроуровня. Однако эти вопросы до настоящего времени изучены недостаточно.

Исследования в этом направлении начаты группой сотрудников под руководством А. П. Клеца. Комплекс исследований разделен на три взаимосвязанные части. Во-первых, необходимо выполнить фундаментальные исследования по определению закономерностей изменения состояния и свойств горных пород при воздействии акустических колебаний с различными параметрами. Во-вторых, — разработать источники звуковых колебаний с заданными характеристиками и отвечающие всем требованиям безопасности на шахтах, опасных по выбросам угля, породы и газа. И, в-третьих, — на базе управляемого высвобождения энергии горного массива при акустическом воздействии разработать новые технологии как для очистных, так и для подготовительных работ на выбросоопасных пластах.

Большое значение имеет рассмотрение процессов, происходящих в горном массиве с позиций установленных в механике и физике эффектов.

Многочисленными инструментальными измерениями установлено, что горный массив находится в постоянном движении [8], причем ведение горных работ интенсифицирует подвижки и особенно сдвиговые [9]. Повышенное горное давление в массиве и большая концентрация напряжений вблизи свободных поверхностей, а также наличие сдвига позволяют предположить, что различные формы проявления горного давления являются следствием высокого давления (ВД) и деформаций сдвига (ДС) — $\text{ВД} + \text{ДС}$. Этот эффект установлен П. В. Бриджменом [10], а в дальнейшем развит в работах Института синтетических полимерных материалов. Установлено, что в условиях высокого давления в сочетании со сдвигом твердые тела теряют механическую устойчивость, вещество разрушается и выбрасывается с большой скоростью, в результате чего происходит механический взрыв. Процесс сопровождается твердофазными реакциями и химическими превращениями без дополнительной энергии активации, что невозможно в обычных условиях, при этом происходит выделение воды, газа и диспергирование вещества до субмикронных размеров.

Эксперименты, проведенные на углях [11], показали, что при нагрузках 1,0 кбар и выше в условиях сдвига происходило взрывное, протекающее в течение долей секунд, локальное разрушение с отбросом частиц угля со скоростью десятков метров в секунду. Выброс развивался с боковой поверхности образцов и затухал с удалением вглубь, как правило, в кутко-

вой зоне. Размеры фракций разрушенного материала составляли от 10 до 10^3 мк.

Высокая подвижность элементов (частиц) горного массива и протекающие реакции при высоком давлении и деформациях сдвига объясняют диспергированность материала и выделение больших количеств газа при выбросах. Неравномерность во времени и пространстве проявления критических сдвиговых деформаций и их связь с направлением ослабления материала концентрации предельных, с точки зрения движения элементов среды, напряжений объясняют разнообразие форм полостей при выбросах угля, породы и газа, а также отсутствие закономерностей в направлении их развития и объемах выброшенной массы.

Представленные подходы и полученные положительные результаты свидетельствуют, что такие исследования по проблеме проявлений горного давления с учетом особенностей больших глубин следует развивать и они должны способствовать усовершенствованию существующих и разработке принципиально новых методов ведения горных работ, в частности, способов прогноза и предотвращения динамических явлений, в том числе базирующихся на использовании энергии горного массива. Учитывая изложенное, рассмотрим проблему выбросов угля, породы и газа, которая еще требует окончательного решения.

Для дальнейшего развития направления по использованию и управлению природной энергией горного массива на основе эффекта активизации разрушения пород, научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, на наш взгляд, следует направить:

- на создание теории управляемого разрушения напряженных горных пород с учетом автоматизированного выбора оптимальных параметров и режима работы очистных и проходческих машин и механизмов, на разработку технических требований к создаваемой технике;

- на разработку принципиально новой технологии и техники ведения горных работ, обеспечивающих снижение энергоемкости и металлоемкости добычных и проходческих машин, повышение их эффективности и безопасности;

- на определение применительно к конкретным условиям рациональных параметров и режимов работы добычных и проходческих машин, обеспечивающих интенсивное воздействие на массив и необходимый уровень притока энергии для участия в работе разрушения;

- на создание автоматизированных систем управления процессом добычи полезных ископаемых с использованием сил горного давления на основе установленной закономерности; машины должны главным образом управлять саморазрушением породы под действием энергии горного давления;

- на разработку новых, нетрадиционных способов выемки угля и проходки горных выработок, не требующих присутствия людей в месте ведения работ.

Что касается выбросов, то основными задачами при разработке способов их предотвращения являются:

- расширение объема применения региональных мер борьбы с выбросами (применение защитных пластов с искусственной дегазацией выбросоопасных пластов в разгруженных зонах; региональная профилактическая обработка угольного массива путем опережающей отработки защитных пластов; дегазация через скважины, пробуренные с поверхности и из горных выработок, гидрообработка и др.);

- создание способов борьбы с выбросами, обеспечивающих безопасное их применение в зонах геологических нарушений, зонах пригрузок, зонах повышенного горного давления от целиков;

- усиление разработок, направленных на снижение частоты и интенсивности выбросов при взрывных работах (при сотрясательном взрывании);

- совершенствование и внедрение очистных комплексов с автоматизированным управлением передвижной крепи и работой комбайнов, стругов.

Целесообразно также усилить работы по более глубокому изучению роли технологии и комплексной механизации в проявлении внезапных выбросов и использовать на этой основе возможности управления динамикой напряженно-деформированного состояния и газодинамическим режимом приза-

бойной части пластов за счет применения рациональных параметров технологии и средств ее осуществления; определить область применения различных вариантов столбовых, сплошных и комбинированных систем разработки и схем подготовки на незащищенных выбросоопасных пластах, использования полевой подготовки;

расширить для условий Донецкого бассейна область применения щитовых агрегатов, комбайновых способов проведения выработок по выбросоопасным пластам угля и выбросоопасным песчаникам и автоматизированного управления добычными механизмами в очистных забоях, позволяющего вести отбойку угля с безопасной дистанции и одновременно регулировать скорость подачи механизма в зависимости от активности поведения пласта в процессе зарубки;

разработать способы и средства механизированной дистанционной заводки комбайнов в лавах крутых пластов, работающих по безмагазинной схеме при полевой подготовке;

расширить работы по безнишевой выемке угля и отработке пластов без оставления целиков;

ускорить работы по созданию добычной машины с подрезным баром для образования разгрузочной щели по всей длине лавы;

предусмотреть расширение работ по оптимизации технологических параметров очистных работ с учетом динамики горного давления и геодинамики месторождений;

усилить работы по созданию технологий и средств для безопасной разработки выбросоопасных пластов, не требующих применения локальных мер борьбы с выбросами.

При разработке способов прогнозирования состояния горного массива, опасного по динамическим явлениям, целесообразно использовать электромагнитные, тепловые, радиационные, акустические и другие физические методы. Следует также использовать методы оценки состояния горного массива, например, по электромагнитным излучениям, регистрируемым с искусственных спутников Земли.

В настоящее время работы в области прогноза выбросов целесообразно направить на решение следующих проблем: разработку надежных и технологических методов текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов для условий больших (более 800 м) глубин; расширение области применения, совершенствование и автоматизацию сейсмоакустического прогноза выбросоопасных зон в забоях очистных и подготовительных выработок; разработку методов и аппаратуры для контроля выбросоопасности забоев, основанных на регистрации искусственных акустических сигналов, а также акустической эмиссии; создание геофизических методов и аппаратуры для обнаружения впереди забоев выработок малоамплитудных тектонических нарушений.

Перспективным направлением при разработке способов предотвращения динамических проявлений горного давления является использование энергии горного массива в процессах добычи полезных ископаемых, что позволяет решить вопрос технологичности профилактических мероприятий — включение их в основной технологический цикл ведения горных работ, а в дальнейшем — создать способы эффективной и безопасной проходки горных выработок и добычи полезных ископаемых в подземных условиях на больших глубинах.

О возможности создания таких способов свидетельствует положительный опыт шахтных экспериментальных работ по добыче угля через скважины путем гидроимпульсного перевода его в подвижное состояние [12].

Результаты, полученные при решении некоторых вопросов управляемого освобождения энергии, дают основание полагать, что его широкая реализация обеспечит: снижение энергоемкости разрушения горных пород и углей в 3—4 и более раз; увеличение скорости проходки горных выработок по напряженным породам в 4—5 раз; существенное снижение металлоемкости добычных и проходческих машин; повышение безопасности ведения горных работ в шахтах, опасных по динамическим явлениям; повышение уровня механизации и автоматизации горных работ.

1. Закономерность разрушения горных пород в подземных условиях.— Открытие № 337, СТ-10573 от 04.82 г.— Оpubл. в Б. И., 1988, № 6.
2. Зорин А. Н., Долинина Н. Н., Колесников В. Г. Механика управления гетерогенным упругонаследственным горным массивом.— Киев : Наук. думка, 1981.— 218 с.
3. Колесников В. Г. Геомеханические основы динамики горного давления и разработка способов ведения горных работ в выбросоопасном массиве: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.— Днепропетровск : ИГТМ АН УССР, 1991.— 36 с.
4. Зорин А. Н., Колесников В. Г. Кинетика изменения состояния угольного пласта при технологическом воздействии // Уголь Украины.— 1988.— № 2.— С. 35—37.
5. А. с. 920213 (СССР) Кл. E21 F 5/00. Способ выемки угольных пластов / А. Т. Диденко, Н. Ф. Панасенко, О. В. Колаколов, А. Н. Зорин.— Оpubл. 15.04.82, Бюл. № 14.
6. А. с. 1479674 (СССР) Кл. E21 F 5/00, 7/00. Способ разработки выбросоопасных пластов / А. Н. Зорин, В. Г. Колесников, А. Ф. Булат и др.— Оpubл. 15.05.89, Бюл. № 18.
7. Царев В. П., Кузнецов О. Л. Экспериментальное изучение физико-химических процессов в горных породах при небольших упругих деформациях // Изв. АН СССР. Физика Земли.— 1978.— № 6.— С. 94—101.
8. Потураев В. М., Осецький А. І. Зорін А. М. Результати інструментальних вимірів сучасних рухів земної кори і динамічні явища в шахтах // Доп. АН УРСР. Сер. А.— 1984.— № 7.— С. 40—43.
9. Батугина И. М., Петухов И. И. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников.— М. : Недра, 1988.— 168 с.
10. Бриджмен П. В. Исследование больших пластических деформаций и разрывов.— М. : Изд-во иностр. лит., 1955.— 444 с.
11. Зорин А. Н., Колесников В. Г. О природе динамических проявлений горного давления // Докл. АН УССР. Сер. А.— 1990.— № 10.— С. 41—43.
12. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля / В. Н. Потураев, С. А. Полуянский, А. Н. Зорин и др.— Киев : Техніка, 1986.— 144 с.

Ин-т геотехн. механики АН Украины,
Днепропетровск

Получено 30.01.92

УДК 622.33:622.012.22

Б. Е. Грецингер

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ УГЛЕДОБЫЧИ

Анализ условий добычи угля в Донбассе показал, что уже в ближайшее время необходимо переходить на нетрадиционные способы его добычи. Рассматривается применение этих способов для различных горно-геологических условий.

Дальнейшее развитие угледобывающей промышленности, особенно старейшего угольного бассейна — Донецкого, определяется необходимостью кардинального решения технических, технико-экономических и социальных проблем отработки угольных пластов на всевозрастающих глубинах и в сложных горно-геологических условиях.

Из-за относительной ограниченности запасов нефти и газа, добычи их во все более жестких условиях и по ряду других причин наблюдается стремление переориентировать топливно-энергетические балансы не только у нас в стране, но и за рубежом на более широкое использование угля как в обычных областях его применения, так и для получения газообразного и жидкого топлива и других химических веществ.

Крупнейшими потребителями энергетического угля останутся электроэнергетика и промышленность (без черной металлургии).

В нашей стране, несмотря на достигнутые успехи в добыче и переработке нефти и газа, уголь является важнейшим и надежным энергоносителем и используется не только как энергетическое и технологическое топливо, но и как сырье в различных отраслях промышленности для производства синтетических видов продуктов, в том числе жидкого и газообразного топлива. И в перспективе роль угля останется весьма значительной, а удельный вес его в топливно-энергетическом балансе стран СНГ после 2000 г. значительно возрастет за счет снижения удельного веса нефти и газа. Это базируется на на-

© Б. Е. Грецингер, 1993