

ПРОГНОЗ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ УГЛЕНОСНОГО МАССИВА

М.М.Андреев, В.В.Камышан
Академия технологических наук Украины

Науковими дослідженнями встановлена закономірність зміни основних термодинамічних параметрів вугленосного масиву від технологічних та геологічних умов. Розроблені методи прогнозу та управління цими параметрами, які дозволили обґрунтувати основні принципи технології комплексної нейтралізації небезпек та шкідливостей очисних виробок науково-технічного проекту "Лава" (Рег.№430).

Состояние вопроса.

Научно-исследовательские работы и разработка инженерных методов прогноза и управления газодинамическими проявлениями угленосного массива (ГПМ) осуществлялись на основе пористо-сорбционной гипотезы газоёмкости угля, мицелярной модели структуры горючей массы, методов теории упругости и сопротивления материалов. Нередко разность фактического и прогнозного метановыделения на выемочном участке отличается более чем в 3 раза от фактического. Эти расхождения в прогнозе ожидаемых ГПМ ставят под сомнение весь комплекс используемых гипотез и моделей. Существующие представления о форме содержания метана в угле и характере формирования зон разгрузки в окрестности выработанного пространства создают предпосылки, при которых возникновение аварийной обстановки в рабочем пространстве нередко квалифицируется комиссиями по их расследованию как «внезапные» выделения газа, «внезапные» обрушения пород, «внезапные» выбросы...

Теоретические предпосылки.

2.1. Модель кинетики структурно-фазовых переходов в макромолекуле угля при её метаморфизации [1,3,15].

В дополнение к модели структурных элементов макромолекулы угля, предложенной Ван-Кревеленом, активному комплексу определено значение одной из основных структур. Из условия второго начала термодинамики и принципа Ле-Шателье построена физико-химическая модель кинетики структурно-фазовых переходов в макромолекуле угля как функция термодинамических параметров её состояния на всех стадиях метаморфизации: доинверсионной, постинверсионной и «промышленной».

С помощью модели раскрывается сущность изменения всех свойств горючей массы в метаморфическом ряду от бурых углей до суперантрацитов: сорбционных, парамагнитных, электропроводных, ионно-обменных, газоносных, изменение степени восстановленности, химического состава и выхода летучих веществ, условия формирования рассеянной органической массы в осадочных породах (детритов) [1,2,6,16].

По результатам анализа более 10 тыс. проб, взятых из угольных пластов, определены некоторые закономерности изменения свойств горючей массы. Установлены аналитические зависимости содержания водорода и кислорода в угле от степени его метаморфизма; степени метаморфизма и метаноносности угля от стратиграфической и геодезической глубин залегания пластов (X-A закон).

2.2. Модель свода разгрузки угленосного массива [2,6,8,9].

Построена математическая модель зон разгрузки и системы аэродинамически связанных трещин в окрестности выработанного пространства в зависимости от технологических параметров системы разработки и геологических условий залегания пласта в координатах реального времени (САСТ), в основу которой положены обобщенные идеи и разработки Протодьяконова, Леонтовского и Лабасса.

2.3. Методика прогноза метанообильности участка.

Математический аппарат прогноза и определения метанообильности выемочного участка в зависимости от уровня нагрузки на лаву и геологических условий её отработки базируется на физико-химическом методе прогноза метаноносности угольных пластов и модели САСТ. Методикой принят к учёту метан, который выделяется из угля разрабатываемого пласта и пластов-«спутников» [2,6,15].

2.4. Модель формирования петли гистерезиса давления (ПГД).

Обобщая результаты шахтных наблюдений, используя разработанные методики и модели, построена физическая модель ПГД. Модель в единой гомологической интерпретации представила условия формирования и реализации всех форм ГПМ: обрушений и «внезапных» прорывов в рабочее (и/или выработанное) пространство боковых пород, аномальных проявлений горного давления, стационарных и экстраординарных метановыделений, внезапных выбросов угля, породы и газа, горных удары, спонтанных воспламенений метановоздушной смеси. С позиций ПГД была дана термодинамическая трактовка условий формирования волн Вебера на призабойном участке разрабатываемого пласта и мелкоамплитудной нарушенности. Она также вскрыла зависимость интенсивности ГПМ от технологических и геологических параметров системы разработки, показала возможность управления ГПМ варьированием этими параметрами [8,13,14].

2.5. Инвариантный комплексный способ дегазации (ИКД).

Исследованием характера формирования метановых потоков из

разгружаемых угольных пластов и пропластков в окрестности выработанного пространства установлены области оптимального каптирования газа средствами дегазации для всего многообразия геологических условий выемочных участков. Предложены способы каптирования метана экранирующими и барьерными скважинами (ЭС и БС), применение которых в сочетании со скважинами на удаленные угольные пласты-спутники (СУС) представляют инвариантный комплексный способ подземной дегазации. Для конкретного участка в зависимости от требуемого коэффициента эффективности дегазации и структуры газового баланса расчетом определяются типы и параметры дегазационных скважин из условия превышения расчетного коэффициента эффективности требуемого [4-7].

Апробации теоретических предпосылок технологии

3.1. X-A закон [1,2,6,15,16].

Полученная зависимость изменения степени метаморфизма угля от геодезической и стратиграфической глубин залегания пласта проверена в условиях угольных месторождений Донбасса, Кузбасса, Караганды, Воркуты, Острого-Карвино и Рура в диапазоне геодезических глубин до 3100м. Во всех случаях определений получена высокая сходимость расчетных и натуральных определений этого показателя степени метаморфизма угля. Сопоставительный анализ данных определения газоносности угольных пластов теоретическим физико-химическим путем с натурными замерами методами ГКН и МГРИ, выполненных трестом «Артёмгеология», показал статистическую вероятность соответствия натуральных методов природным условиям.

3.2. Метанообильность выемочных участков.

Физико-химический метод прогноза и определения метанообильности выемочного участка (ФХМП) проверен на 165 шахтах Кальмиусс-Торецкой котловины и 35 Главного антиклинала. Из 310 шахто-определений натурным и расчетным методами 244 сопоставления (78%) показали высокую сходимость значений, 54 (17,5%) – удовлетворительную. Аналогичное соотношение получено при сопоставлении результатов прогноза и натуральных определений метанообильности 1144 пластовых выработок.

Проведена опытно-промышленная проверка ФХМП на 44 выемочных участках 10 шахт Украинского Донбасса. Расчетный метод сопоставлялся с натурным (НМ) и методом утвержденного руководства по проектированию вентиляции шахт (СВМ). Высокий уровень сходимости с НМ ФХМП дал 84% результатов, СВМ – 24. Отклонения более 20 м³/т от НМ методом СВМ дали 10% результатов сопоставлений, ФХМП – ни одного [2,6,16].

Динамический метод прогноза метанообильности подготовительной

выработки (ДМП) в координатах реального времени даёт изменение концентрации метана в исходящей вентиляционной струе. Проверка ДМП осуществлялась при проведении подготовительной выработки по пласту m_3 на шахте «Чайкино». Сопоставление расчётных значений концентраций метана в вентиляционной струе с данными аппаратуры газовой защиты, непрерывно автоматически регистрирующей этот параметр, показало высокий уровень сходимости на протяжении 10-часового периода непрерывного наблюдения.

3.3. Инвариантный комплексный способ дегазации (ИКД).

Исследования новых способов подземной дегазации разгружаемого угленосного массива экранирующими и барьерными скважинами проводились в институте Донуги в период 1986-91 гг. Получены авторские свидетельства на изобретение этих способов дегазации [4, 5]. Разработано временное руководство по применению барьерных и экранирующих скважин, способ экранирующих скважин включен в «Технологические схемы отработки угольных пластов» (Донецк, Донуги, 1999г). ИКД использовался институтом «Южгипрошахт» в проектах строящихся шахт «Суходольская-Восточная», им Кирова, им. Баракова, в проектах дегазации шахт им. Ильича и им. Кирова («Стахановуголь»), «Фашевская» («Луганскуголь»). Применение ИКД на выемочных участках позволило повысить эффективность дегазации угленосного массива до 76%, а разрабатываемого пласта до 83% [3-7].

3.4. Способ управления горным давлением (УГД).

Обобщением причин и условий аварий, связанных с проявлением горного давления, на основе физической модели ПГД разработан способ УГД, который предусматривает предупреждение проявлений аномально повышенных напряжений в окружающем выработку массиве боковых пород и увеличение их прочностных свойств [9,16].

Предупреждение аномально повышенных напряжений осуществлялось на шахте «Бутовская» («Макеевуголь»). При применении способа прекратились периодические завалы подготовительных выработок. Увеличение прочностных свойств боковых пород наблюдалось во всех случаях применения экранирующих скважин.

Получено авторское свидетельство на способ определения геометрических параметров зоны опорного давления [10].

Научно-технический проект «Технология комплексной нейтрализации опасностей и вредностей очистной выемки (Лава)» [11,12,14,16-18]

4.1. Состояние вопроса.

В эргономическом аспекте очистные выработки угольных шахт Донбасса характеризуются наибольшим сочетанием дискомфорта, опасностей и вредностей: ограниченность и мобильность рабочего

пространства, высокий уровень запыленности, влажности, температуры и скорости воздушного потока, подверженность травмированию из-за реализации ГПМ.

До настоящего времени работы по снижению отрицательного влияния того или иного фактора велись монофункционально, что привело к обилию разобщенных между собой инструкций и руководств по проветриванию и дегазации, борьбе с выбросами и горными ударами, прорывами пород почвы, по креплению лав и упрочнению боковых пород, по снижению температуры и запыленности атмосферы. Это создает затруднения в определении оптимальных сочетаний параметров очистной выемки и последовательности их выполнения, к частым нарушениям (отступлениям) тех или иных нормативных актов, вызывает значительные затраты людских и материальных средств при очень низкой эффективности применяемых методов.

Для предупреждения обрушений пород в лавах наметилась общая тенденция увеличения несущей способности призабойной крепи за счет увеличения ее плотности, использования металлических и гидрофицированных конструкций, что привело к росту материалоемкости, трудоемкости крепления, стоимости оборудования и дополнительной загроможденности рабочего пространства лав. Все большее распространение получают химическое и механическое анкерование пород кровли, которое в лавах с мощностью пласта менее 1,0м весьма затруднительно.

Запыленность атмосферы в районе работы комбайна в сотни раз превышает ПДК. Существующие системы орошения часто выходят из строя из-за повсеместного применения воды, не соответствующей техническим условиям. Предварительное нагнетание воды в пласт из рабочего пространства лав довольно затруднительно и требует значительных затрат времени, которые резко возрастают с уменьшением мощности разрабатываемого пласта. Нагнетание воды в пласт через длинные скважины, пробуренные из подготовительных выработок, с одной стороны весьма неэффективно, а с другой – весьма затруднено их бурение. Скважины, пробуренные за пределами ЗОД, при приближении к ним лавы практически полностью разрушаются. Вновь возникшие трещины и частицы разрушенного угля на разгружаемой призабойной части пласта практически не могут быть коагулированы предварительной пропиткой пласта.

Длительное время на шахтах Донбасса дегазация разрабатываемого пласта практически не применялась. Это было обусловлено ошибочными представлениями о низком газовыделении из разрабатываемых пластов. Случаи воспламенения метана без внешнего теплового импульса не описываются базовой пористо-сорбционной гипотезой газоёмкости угольных пластов, и они просто игнорируются. Разработанные на основе

этой гипотезы меры по прогнозу и предупреждению внезапных выбросов угля и газа, внезапных прорывов боковых пород в рабочее пространство лав часто оказываются неэффективными.

Для снижения температуры воздуха в очистных выработках рекомендуется применение стационарных холодильных установок. При довольно высокой стоимости оборудования и обслуживания охлаждающей сети из-за значительной её протяженности и больших потерь эффективность способа очень низкая и практически не применяется.

4.2. Цель и область применения технологии.

Целью разработанного проекта, который представлен Донецким региональным отделением АГНУ и зарегистрирован в «Программе научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 года» под №440, является обеспечение безопасных условий производительного труда при выемке угля в лавах и достижение экономического эффекта за счет многофункционального использования экранирующих скважин, обеспечивающих предупреждение обрушений (внезапных прорывов) боковых пород в рабочее пространство выработок, снижение запыленности и температуры атмосферы очистных пространств, высокоэффективную дегазацию разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива, предупреждение внезапных выбросов угля и газа, а также воспламенений метана в рабочем и выработанном пространстве, в том числе спонтанных.

Областью применения технологии является столбовая и/или сплошная системы разработки, при наличии выработки, опережающей линию забоя лавы со стороны свежей или исходящей вентиляционной струи на расстояние, необходимое для выполнения всего комплекса технологических операций.

4.3. Параметры технологии.

Бурение экранирующих скважин из подготовительной выработки, опережающей угольный забой лавы, осуществляется по боковым породам над и под разрабатываемым пластом. После прохода трассой скважины участка нарастающего давления в ЗОД её подключают к дегазационному вакуумированному трубопроводу. При приближении трассы скважины, пробуренной в породах кровли, к угольному забою лавы её отключают от дегазационного трубопровода и в места нарушенных пород через скважину нагнетают синтетические быстро твердеющие скрепляющие смолы для повышения прочности пород.

При приближении трассы скважины, пробуренной в породах почвы, к угольному забою её отключают от дегазационного трубопровода и в неё нагнетают пылесвязывающие растворы и хладонноситель. В момент прохода лавы над трассой скважины её вновь подключают к дегазационному трубопроводу.

4.4. Функциональные возможности технологии

Технология «Лава» обеспечивает:

- многофункциональность нейтрализации отрицательного влияния указанных факторов при простоте технологии её выполнения;
- предупреждение развития техногенной зоны опережающих трещин, обусловленной высоким градиентом нормальных и тангенциальных напряжений в разгружаемой призабойной кромке угленосного массива, монолитность консоли зависающих пород и предупреждает отслаивание кусков породы кровли в рабочем пространстве лавы. Это позволяет снизить плотность и несущую способность призабойной крепи, трудоемкость процесса возведения крепи и его стоимость;
- нагнетание пылесвязывающих растворов в угольный пласт на разгружаемом его участке при горном давлении менее геостатического, где трещины в массиве уже сформировались. Полное раскрытие трещин происходит при отбойке угля, а истечение законсервированной в них жидкости обеспечивает коагуляцию разрушенных частиц;
- высокий уровень дегазации разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива исключает внезапные выбросы угля и газа, внезапные прорывы почвы в рабочее пространство лавы, воспламенения метановоздушной смеси (в том числе спонтанные), практически снимается ограничение газового фактора на уровень нагрузки на лаву;
- нагнетание хладоносителя в породный массив, непосредственно примыкающий к рабочему пространству лавы, и забор тепла от горного массива осуществляется из ограниченного пространства по прямому назначению;
- рост производительности труда рабочих очистной группы на 6-20%, снижение расходов по участку на 5-25%, сокращение объёмов работ, выполняемых непосредственно в рабочем пространстве лавы, улучшение безопасных условий производительного труда [11- 12].

Литература

1. Андреев М.М. Определение и прогноз газоносности угольных пластов и газообильности шахт Донбасса. - М.: ЦНИЭИуголь.-1975.-57 с.
2. Андреев М.М. Опыт-промышленная проверка физико-химического метода прогноза метанообильности выемочного участка // Технология добычи угля. – Донецк: Донуги, 1990.- С. 142-151.
3. Андреев М.М. Гомология газодинамических проявлений массива //Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1989.- Вып. 83. – С. 40-47.
4. А.с. 1627733 СССР, МКИ Е 21 F 7/00. Способ дегазации разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива.

5. А.с. 1583637 СССР, МКИ Е 21 F 7/00. Способ дегазации разгружаемого горного массива.
6. Андреев М.М. Инвариантный комплексный способ дегазации (ИКД) // Сб. докл. 24-й междунаро. конф. науч.-исслед. институтов по безопасности работ в горн. пром-сти. - Донецк, 1991. – С. 153-162.
7. Каптирование метана скважинами на пути его движения из источников /О.С.Гершун, М.М.Андреев, В.К.Коллюпанов, Н.Н.Гатаулин// Совершенствование технологии производства на шахтах Донбасса – Донецк: Донуги, 1987.- С. 137-145.
8. Андреев М.М. Формирование петли гистерезиса давления // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1989.- Вып. 84. – С. 14-23.
9. Андреев М.М. Аномальные проявления горного давления на угольных шахтах// Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1990.- Вып. 87. – С. 11-19.
10. А.с. 1550136 СССР, МКИ Е 21 С 39/00. Способ определения ширины зоны опорного давления.
11. Андреев М.М. Технология комплексной нейтрализации опасностей и вредностей очистных выработок// Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1991.- Вып. 90. – С. 7-12.
12. А.с. 1548467 СССР, МКИ Е 21 F 5/00. Способ многостадийного воздействия на призабойную зону угленосной толщи для борьбы с газовыделением, пылеобразованием, выбросами, обрушениями и температурой.
13. Андреев М.М. Технологические аспекты радикального повышения эффективности угледобычи // Уголь Украины. – 1998. - №4. – С. 12-13.
14. Андреев М.М. Физическая химия угля: эффективные технологии его добычи и использования // ВСЁ. – 2001. – Вып. №2-3. – С. 45-48.
15. Андреев М.М. Введение в термодинамику угленосного массива// Сб. докладов Международной науч.-техн. конференции «Форум горняков-2003» - НГАУ. – Днепропетровск. – 2003. – С. 51-61.
16. Андреев М.М. Термодинамика угленосного массива// Там же.–С. 31- 41.
17. Андреев М.М. Геотехнологии третьего тысячелетия/ «Новые технологии – путь в будущее»: Сб. научных трудов и разработок // Институт экономико-правовых исследований НАН Украины. – Вып.2. – Донецк: 000 «Юго-Восток, Лтд», 2003. – С.77-81.
18. Программа научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 года// Донецкая областная государственная администрация, Донецкий областной Совет, Национальная Академия наук Украины. – Донецк: «Новый мир». – 2003. – С.50.

Поступила в редакцию 12.01.04