УДК 622.831.322

Николаев Юрий Алексеевич, аспирант

(КузГТУ, г. Кемерово)

Шепелева Софья Алексеевна, доцент, к.т.н.

(КузГТУ, г. Кемерово)

Yury A. Nikolaev, postgraduate student (KuzSTU, Kemerovo)

Sofya A. Shepeleva, PhD in Engineering, Associate Professor (KuzSTU, Kemerovo)

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
GENERAL INFORMATION, HISTORICAL EXPERIENCE AND SUBSTANTIATION OF A NEW METHOD FOR EVALUATING THE GAS-DYNAMIC STATE OF COAL SEAMS

Аннотация: Статья посвящена проблеме внезапных выбросов угля и газа. Рассмотрена история изучения явления, проанализированы методы оценки газоносности пластов.

Abstract: The article is devoted to the problem of sudden coal and gas outbursts. The history of studying the phenomenon is reviewed, and methods for assessing the gas content of seams are analyzed.

Внезапные выбросы угля и газа – это опасные газодинамические явления (ГДЯ), возникающие в угольных пластах. Они характеризуются стремительным разрушением массива горных пород, лавинообразным смещением и выносом угля в горную выработку с одновременным интенсивным выделением метана. Данные явления приводят к травматизму и гибели шахтеров, запечатыванию выработок и разрушению подземных коммуникаций.

Отличительным признаком внезапного выброса является образование колоссального количества мелкодисперсной угольной пыли, получившей в шахтерской среде название «бешеная мука». Исследования под электронным микроскопом подтверждают, что ее частицы соответствуют муке тонкого помола.

Первый в мире внезапный выброс зарегистрирован во Франции в 1834 г. (ш. «Исаак»). К концу века явление приобрело массовый характер во

Франции, Бельгии, Англии и Германии. Катастрофа 1879 г. в Бельгии (ш. «Аграпп» №2), унесшая жизни 121 рабочего, активизировала научные поиски. В 1890 г. изобретатель Марсо предложил первую защитную меру – сотрясательное взрывание, предназначенное для провоцирования выброса в отсутствие людей в забое.

В России первый выброс зафиксирован 9 сентября 1906 г. на шахте «Новая Смолянка» (Донбасс). В 1917 г. ученый Н. Н. Черницин опубликовал труд, где обосновал, что причиной выбросов являются очаги повышенного давления газа, заложив основу газовой гипотезы [1].

Переход шахт на глубокие горизонты в 1920–1950-е гг. вызвал резкий рост частоты и силы ГДЯ. В 1929 г. к системному изучению проблемы приступил Макеевский научно-исследовательский институт (МакНИИ).

Метан угольных пластов (МУП) – сильный парниковый газ, влияние которого на глобальное потепление в 72 раза выше, чем у CO_2 (в 20-летней перспективе). Внутри пласта он находится в трех состояниях: свободном, растворенном и сорбированном (адсорбированном). До 80% всего метана удерживается в адсорбированном виде на внутренней поверхности угольной матрицы.

Генезис метана в пласте включает два пути. Термогенный: образуется при глубокой углефикации органики под воздействием температур и давления. Объемы газа напрямую зависят от марки (зрелости) угля и глубины залегания. Биогенный: формируется на поздних стадиях за счет жизнедеятельности бактерий, приносимых пресными водами (характерен для неглубоких пластов).

Угольный пласт представляет собой коллектор с двойной пористостью. Матрица (поры 1 – 100 нм) отвечает за долговременное хранение газа, а естественные трещины (кливажи) формируют фильтрационные каналы. Пористость трещин составляет всего 0,1–1% при общей пористости до 20%. Десорбция газа начинается только при снижении пластового давления ниже критической отметки, что в промышленности достигается откачкой воды или разгрузкой массива. При этом уголь обладает уникальной проницаемостью: при отдаче газа матрица сжимается, трещины раскрываются, и проницаемость пласта растет.

Системный контроль газоносности в СССР начался в 1950-х годах в Кузбассе. В 1977 году была введена «Инструкция по определению газоносности угольных пластов...», разделившая подходы на прямые и косвенные [2]. Косвенные методы прогнозируют газообильность на основе фактического выделения метана при горных работах, данных газовых съемок и расчета баланса. Также используются лабораторные изотермы сорбции (уравнение Ленгмюра). Главный минус – они не учитывают динамическое

влияние горного давления на фильтрацию. Прямые методы включают наземный отбор кернов при разведочном бурении, что часто не дает нужной точности из-за редкой сетки скважин. Прямой отбор проб непосредственно из подземных выработок признан более оперативным и экономически выгодным (исследования ИГД им. А. А. Скочинского). ИПКОН РАН, МИСиС, МГИ, КузГТУ, НЦ ВостНИИ пытались внедрить герметичные шахтные кернонаборники, однако они показали низкую надежность уплотнений в подземных условиях. В итоге на практике часто используют открытые пробоотборники с умножением результата на эмпирический поправочный коэффициент (1,1 – 1,25), что существенно снижает точность оценки безопасности.

Природная газоносность пласта формируется под воздействием региональных факторов (стратиграфическая глубина, тектоника, стадия метаморфизма) и локальных аномалий (зольность, трещиноватость, проницаемость вмещающих пород). Метаморфизм напрямую меняет структуру угля: растет доля углерода, падает концентрация кислорода и водорода, увеличивается хрупкость, что делает уголь склонным к динамическому разрушению.

Вертикальная газовая зональность делит массивы на 4 зоны: азотно-углекислую, азотную, азотно-метановую и метановую. Основная деятельность современных шахт ведется в глубокой метановой зоне, где метан является главным фактором риска ГДЯ. Исследования профессора О. И. Чернова доказали [3], что пласты Кузбасса (в частности, изученные авторами пласт 26 ш. «Берёзовская» и пласт 5 ш. «Чертинская-Коксовая» [4]) становятся выбросоопасными при природной газоносности более 11 м³/т и наличии высоких зон повышенного горного давления.

Существующие экспресс-методы ИГД им. А. А. Скочинского обладают критическими недостатками: они либо используют грубую линейную аппроксимацию кривой потерь газа, либо оценивают газовыделение только в процессе бурения штыба, игнорируя остаточный газ и влияние разгрузки массива. Коэффициент реального извлечения газа при дегазации в Кузбассе остается низким (0,23–0,26). Это обуславливает необходимость строгого контроля остаточной газоносности очистных столбов для предотвращения внезапных выбросов.

Механическое разрушение угольного вещества представляет собой сложный физико-химический процесс, при котором разрушение структуры угля сопровождается десорбцией газов, что повышает внутрипоровое давление в замкнутых микротрещинах. Это преобразует потенциальную энергию массива в кинетическую энергию выброса, переводя мелкодисперсный уголь в состояние опасного аэродинамического потока.

Анализ применяемых в практике прямых и косвенных методов оценки газоносности выявил их системную ограниченность. Косвенные расчетные методы не учитывают динамическое влияние горного давления на фильтрацию газа. Прямые методы сталкиваются с низкой надежностью герметичных шахтных кернонаборников в подземных условиях, что вынуждает использовать открытый отбор проб с грубыми эмпирическими поправками. Существующие экспресс методы ИГД им А А Скочинского дают высокую погрешность из за линейной аппроксимации потерь газа и игнорирования остаточного метана, что недопустимо при низком среднем коэффициенте дегазации в Кузбассе.

Высокая частота проявления ГДЯ на глубоких горизонтах обуславливает острую необходимость внедрения более точных и оперативных способов контроля, базирующихся на макрокинетике десорбции с обязательным учетом физико - химических эффектов механического разрушения угольного вещества, что позволит повысить надежность прогноза для безопасного ведения горных работ.

Список литературы

1. Черницин, Н. Н. Рудничный газ и условия его выделения в выработки Донецкого бассейна / Н. Н. Черницин. — Петроград : Типография Редакции Периодических Изданий Министерства Финансов, 1917. — 131 с.
2. Инструкция по определению газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах : утверждена Министерством геологии СССР, Министерством угольной промышленности СССР 15.11.1977. — Москва : Недра, 1977. — 56 с.
3. Чернов, О. И. Прогноз внезапных выбросов угля и газа / О. И. Чернов, В. Н. Пузырев. — Москва : Недра, 1974. — 296 с.
4. Шепелева С.А., Дырдин В.В., Николаев Ю.А., Михайлов В.Г., Трубицын А.А. Удельная энергия разрушения и газовыделение из угля выбросоопасных пластов при его разрушении до частиц определенного размера// Безопасность труда в промышленности. — 2025. — № 4. — С. 14-20. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-4-14-20