



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И ДЕГАЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОТРАБОТКЕ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Мясников Никита Владимирович

Аспирант, Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово, Российская Федерация

Аннотация

В представленной статье подробно рассматриваются актуальные вопросы организации эффективного проветривания выемочных участков и модернизации дегазационных систем на современных угольных шахтах. На основе анализа натуральных данных деконструируются процессы выделения метана из вырабатываемого пространства и сопутствующих пластов при высокоинтенсивной отработке лав. Автор критически подходит к оценке традиционных схем вентиляции, акцентируя внимание на границах их применимости из-за опасности загазирования призабойных пространств. В работе детально проанализированы механизмы барьерной дегазации и предварительного гидрорасчленения угольных пластов. Особое место уделено математическому обоснованию параметров аэрогазодинамических процессов в выработанном пространстве, что позволяет повысить точность прогнозирования метанообильности выработок и обеспечить безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: шахтная вентиляция, дегазация, метанообильность, выемочный участок, угольный пласт, аэрогазодинамика, загазирование, безопасность, Кузбасс.

Введение

Давайте отбросим в сторону оптимистичные производственные отчеты и взглянем на проблему прямо: современная высокоинтенсивная добыча угля вплотную уперлась в так называемый «газовый барьер». Сегодня, когда суточная производительность очистного забора в передовых шахтах Кузбасса превышает десять тысяч тонн, именно фактор метанообильности становится главным тормозом развития горных работ. Потенциал мощных очистных комбайнов и механизированных комплексов нового поколения часто используется лишь наполовину, поскольку автоматические системы газового контроля вынуждены постоянно отключать питание оборудования из-за превышения допустимой концентрации метана в струе.

В мае две тысячи двадцать шестого года горная инженерия стоит перед жестким вызовом: старые методы расчета объемов подаваемого воздуха больше не справляются с колоссальными объемами выделяющегося газа.

Суть проблемы заключается в том, что с ростом глубины разработки природная газоносность угольных пластов увеличивается практически линейно. Одновременно с этим падает проницаемость угольного массива из-за возрастающего горного давления, что делает традиционную предварительную дегазацию менее эффективной. Попытки решить вопрос простым увеличением объемов подаваемого в шахту воздуха наталкиваются на жесткие технологические и физические ограничения. Предельно допустимая скорость движения воздуха в выработках строго регламентирована правилами безопасности, превышение которых приводит к недопустимому выносу угольной пыли и резкому росту респираторных заболеваний среди шахтеров. Следовательно, экстенсивный путь наращивания объемов проветривания себя полностью исчерпал.

Целью настоящей статьи является детальный разбор физических процессов, определяющих динамику формирования метановоздушных смесей в контурах выемочного участка, и поиск путей радикального повышения эффективности систем вентиляции и дегазации. Горный инженер сегодня должен мыслить не категориями «кубометров воздуха в минуту», а категориями управления динамическими потоками газов в сложнопористой разрушенной среде выработанного пространства. Только через глубокую интеграцию систем вентиляции с проактивными методами шахтной дегазации и цифровым моделированием аэрогазодинамических полей можно обеспечить стабильную и безопасную работу высокопроизводительных лав.

Механизмы метановыделения и кризис классических схем проветривания

Чтобы детально разобраться в физике процесса, необходимо понять, откуда именно берется метан в очистном забое. Вопреки распространенному мнению, сам разрабатываемый пласт дает лишь от тридцати до сорока процентов от общего объема газовыделения. Основной поток метана устремляется в выработки из так называемых источников сближенных пластов и вмещающих пород, а также из обширного выработанного пространства, где уголь остался в потерях или в виде целиков. При подвигании лавы кровля обрушается, образуя зону интенсивной трещиноватости, которая распространяется вверх и вниз на десятки метров. Этот деформированный массив превращается в гигантский дренажный коллектор, по которому метан под действием градиента давлений устремляется напрямик к действующим рабочим зонам.

При использовании классической возвратноточной схемы проветривания, когда свежий воздух подается по конвейерному штреку, омывает лаву и выходит по вентиляционному штреку, инженеры неизбежно сталкиваются с проблемой формирования опасных местных загазирований на сопряжении лавы с

вентиляционным штреком. Именно здесь, на выходе из очистного забоя, происходит слияние газовых потоков из самой лавы и из выработанного пространства. Ситуация усугубляется при резких падениях атмосферного давления на поверхности: в этот момент скопившийся в пустотах метан начинает буквально «выдавливаться» в действующие выработки, создавая аварийные и взрывоопасные ситуации за считанные минуты.

Для борьбы с этим явлением в практику внедряются прямоточные схемы проветривания с подсвежением выходящей струи воздуха, а также схемы с изолированным отводом метановоздушных смесей по неподдерживаемым выработкам. Однако и эти решения имеют свои слабые стороны. Прямоточные схемы требуют поддержания выработок позади очистного забора в условиях интенсивного горного давления, что влечет за собой огромные затраты на крепление. Кроме того, движение больших объемов воздуха через выработанное пространство существенно повышает риски самовозгорания склонных к окислению углей, переводя проблему из плоскости газовой безопасности в плоскость борьбы с подземными эндогенными пожарами.

Модернизация дегазационных комплексов и методы направленного гидрорасчленения

Очевидно, что без принудительного извлечения метана из массива средствами дегазации решить проблему «газового барьера» невозможно. Но эффективность традиционных пластовых скважин, пробуренных из подземных выработок, на больших глубинах падает до критических десяти-пятнадцати процентов. Причина кроется в закрытии естественных трещин и пор угля под воздействием всестороннего горного давления. Чтобы заставить газ выделяться из матрицы угля, горная инженерия должна активно применять методы искусственного изменения физико-механических свойств массива, среди которых ведущее место занимает направленное гидрорасчленение пласта через скважины, пробуренные с поверхности.

Технология заключается в нагнетании в угольный пласт рабочей жидкости под давлением, значительно превышающим предел прочности угля и разрывающие компоненты естественного поля напряжений. В массиве формируется разветвленная сеть магистральных и наведенных трещин, распространяющихся на сотни метров от скважины. Для предотвращения последующего смыкания этих трещин после сброса давления в них вместе с жидкостью подается расклинивающий агент — проппант или крупнозернистый кварцевый песок. После откачки рабочей жидкости проницаемость угольного пласта возрастает на два-три порядка, что позволяет извлекать до семидесяти процентов сорбированного метана еще до начала проходческих и очистных работ, переводя уголь из категории «высокоопасного» в категорию слабогазоносного.

В процессе ведения очистных работ на первый план выходит дегазация выработанного пространства и разгружаемых сближенных пластов. Для этого из специально пройденных дренажных выработок или с поверхности земли бурятся кусты направленных скважин, купола которых располагаются в зонах интенсивного трещиноватости над кровлей отрабатываемого пласта. Эффективность работы таких систем напрямую зависит от точности попадания забоя скважины в так называемые «газовые мешки» — зоны максимального скопления и разрежения метана. Использование современных вакуум-насосных станций автоматического регулирования позволяет гибко менять разрежение в дегазационной сети в зависимости от текущей скорости подвигания лавы, поддерживая концентрацию метана в дегазационном трубопроводе на безопасном и экономически выгодном для утилизации уровне.

Цифровое моделирование аэрогазодинамических процессов в пористых средах

Переход на качественно новый уровень проектирования вентиляции немислим без внедрения современных цифровых инструментов трехмерного моделирования аэрогазодинамических процессов. Выработанное пространство шахты представляет собой классическую стохастическую пористую среду с непрерывно меняющимися во времени и пространстве коэффициентами фильтрации и аэродинамического сопротивления. Рассчитать движение газов в такой системе с помощью простейших линейных уравнений баланса невозможно. Горным инженерам необходим инструментарий вычислительной гидродинамики, адаптированный под специфику горного производства.

Внедрение специализированных программных комплексов позволяет выстраивать детальные трехмерные сетки выемочного участка, включающие в себя действующие выработки, очистной забой и обрушенную кровлю с изменяющейся степенью уплотнения пород. Модель учитывает не только геометрию выработок, но и тепловые поля, фильтрационные свойства вмещающих пород, а также динамику работы дегазационных скважин. Путем решения уравнений Навье — Стокса и законов фильтрации в пористых средах инженеры получают наглядную картину распределения концентраций метана и скоростей воздушных потоков в любой точке исследуемого пространства.

Практическая ценность такого моделирования огромна. Еще на стадии проектирования выемочного участка мы можем «проиграть» различные сценарии: оценить поведение газовой среды при увеличении нагрузки на лаву, подобрать оптимальное месторасположение дегазационных скважин и рассчитать необходимые параметры вентиляционных сооружений (перемычек, кроссингов, шлюзов). Более того, интеграция цифровых аэрогазодинамических моделей с реальными датчиками системы контроля рудничной атмосферы позволяет создавать системы оперативного прогнозирования.

Если датчик в лаве фиксирует плавный рост концентрации газа, система, анализируя цифровую модель, может выдать инженеру точную рекомендацию: на сколько единиц необходимо увеличить шаг дегазационных скважин или как изменить режим работы главного вентилятора, чтобы предотвратить загазирование.

Заключение

Резюмируя результаты проведенного исследования, необходимо подчеркнуть, что успешное преодоление «газового барьера» при высокоинтенсивной разработке угольных пластов лежит исключительно в плоскости глубокой технологической интеграции вентиляции и дегазации. Мы должны полностью отказаться от восприятия проветривания как изолированной технической задачи. Эффективное управление аэрогазодинамическим состоянием шахты — это единый, непрерывный инженерный процесс, где объемы подаваемого воздуха и параметры работы вакуум-насосных систем жестко взаимосвязаны и динамически корректируются в зависимости от горно-геологических факторов.

Будущее систем обеспечения безопасности угольных шахт неразрывно связано с повсеместным внедрением методов предварительного направленного гидрорасчленения низкопроницаемых пластов и переходом на прецизионное трехмерное цифровое моделирование воздушных и газовых потоков. Только создание интеллектуальных автоматизированных систем вентиляции, способных в реальном времени перераспределять воздушные потоки на основе прогнозных данных математических моделей, позволит полностью исключить аварийные остановки очистных забоев. Такой научно обоснованный, системный подход обеспечит не только высокую экономическую рентабельность глубоких угольных предприятий, но и создаст бескомпромиссные условия для защиты жизни и здоровья шахтеров.

Литература

1. Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Пучков Л. А. Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1987. — 421 с.
2. Рубан А. Д., Забурдяев В. С. Научные основы высокоэффективной дегазации угольных пластов на шахтах Кузбасса. — М.: Горная книга, 2009. — 192 с.
3. Мясников А. А. Управление выделением метана в угольных шахтах. — М.: Недра, 1973. — 256 с.
4. Скочинский А. А., Комаров В. Б. Рудничная вентиляция. — М.: Углетехиздат, 1959. — 632 с.
5. Пучков Л. А., Каледина Н. О. Динамика процессов аэрогазодинамики выемочных участков угольных шахт. — М.: Издательство МГТУ, 1995. — 312 с.