

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.831; 622.2; 622.235

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОМ ЦИКЛЕ ОСВОЕНИЯ НЕДР

М. В. Рыльникова¹, В. А. Еременко¹, А.П. Ерусланов², С. А. Прохвятилов²

¹Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия

²Филиал ФГУП "ВГСЧ" Новокузнецкий военизированный
горноспасательный отряд (НВГСО),
ул. Горноспасательная, 5, 654028, г. Новокузнецк, Россия

Рассмотрены условия экологически сбалансированного комплексного освоения угольных месторождений с минимизацией воздействия выделяемых при ведении очистных работ газов на среду обитания человека. Установлено, что проектирование геометрических параметров выемочных столбов при разработке угля необходимо проводить на основе построения модели распределения кислорода в выработанном пространстве с дальнейшей калибровкой модели с учетом полученных в натуральных условиях экспериментальных данных.

Экологически сбалансированный цикл, месторождение, комплексное освоение, шахта, угольный пласт, выемочный столб, размеры, выработанное пространство, система мониторинга, кислород, метан

В последние годы при подземной разработке угольных месторождений в Российской Федерации наметилась тенденция существенного роста производительности очистных забоев. Увеличить нагрузку на очистные забои в несколько раз позволило техническое перевооружение предприятий. Совершенствование техники и технологии горных работ привело к увеличению геометрических параметров выемочных столбов.

Повышение концентрации горных работ и рост производительности очистных забоев сопровождается ростом числа аварийности, превышающим соответствующие показатели мирового уровня. В условиях современных угольных шахт Кузбасса при отработке свит пологих пластов несовершенство применяемых технологических схем, способов управления газовыделением и недостаточный учет взаимовлияния сближенных пластов нередко приводит к формированию очагов самовозгорания.

Комплекс экологических проблем, которые выявляются на угледобывающих предприятиях, порождает загрязнение среды обитания человека внутри каждой горнотехнической системы и в ореоле ее влияния, что обуславливает необходимость проведения обязательного монито-

ринга ее состояния. Мониторинг позволяет обнаружить слабые места подсистем, из которых складывается горнотехническая система горнодобывающего предприятия, и наметить направления дальнейших исследований и технологических разработок для обеспечения экологически сбалансированного комплексного извлечения запасов угля [1].

Проблему устойчивого экологически сбалансированного освоения месторождений, отвечающего требованиям сохранения среды обитания человека, необходимо решать на самых ранних стадиях проектирования горнотехнических систем как базовой основы деятельности угледобывающих предприятий [2]. Для обеспечения устойчивого экологически сбалансированного освоения месторождений необходимо, чтобы горный проект решал вопросы наиболее полного извлечения угольных запасов из недр и ценных компонентов из добытого угля.

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Под экологически сбалансированным циклом комплексного освоения угольных месторождений понимается цикл эксплуатации участка недр, в котором обеспечивается разведка, подготовка, извлечение угля из недр при минимуме воздействия на состояние окружающей среды с обеспечением условий сохранения параметров среды обитания человека и минимизацией выбросов вредных веществ во внешнюю среду [2].

Под средой обитания человека необходимо рассматривать макро- и микроуровень: микроуровень — среда обитания человека в пределах горнотехнической системы; макроуровень — среда обитания человека в ореоле влияния горнотехнической системы.

Разработка угольных месторождений приводит к изменению состояния среды обитания человека. На микроуровне на атмосферу горнотехнической системы оказывают влияние выделяемые газы: метан (CH_4), который в том числе является причиной возникновения аварий и катастроф (взрывов); диоксид углерода (углекислый газ CO_2) — вызывает кислородное голодание, слабоядовит (образует угольную кислоту).

При возникновении пожаров в шахте и самонагревании угля в выработанном пространстве выделяются: оксид углерода (CO) вызывает отравление угарным газом; сернистый газ (SO_2) вызывает отек легких, раздражение слизистых оболочек (выделяется при горении серосодержащих пород); радон (Rn) приводит к поражению тканей легких, попадает в кровь, оказывает радиоактивное действие на органы [3]. При самонагревании угля в выработанном пространстве самовозгорания, как правило, еще нет, но уже происходит интенсивное загрязнение шахтовой атмосферы выделяемыми газами.

На макроуровне на атмосферу поверхности в ореоле влияния горнотехнической системы на среду обитания человека оказывают воздействие выделяемые при добыче угля парниковые газы — метан и двуокись углерода. Так, средняя абсолютная газообильность Осинниковской шахты, расположенной на юге Кузбасса, в 2014 г. составила по метану $183.8 \text{ м}^3/\text{мин}$ (96.6 млн $\text{м}^3/\text{год}$), по диоксиду углерода — $38.0 \text{ м}^3/\text{мин}$ (19.97 млн $\text{м}^3/\text{год}$) при средней суточной добыче угля в шахте 3737 т. При этом не весь выделяемый газ учитывается — значительная доля парниковых газов дренирует через нарушенную подработкой толщ пород и почву непосредственно на поверхность. Сернистый газ способствует образованию сернистой кислоты, приводящей к формированию кислотных дождей. Выделяемый радон повышает радиационный фон региона.

Проектирование конструктивных параметров эксплуатации выемочных столбов при разработке угольных месторождений необходимо проводить с учетом минимизации воздействия на состояние окружающей среды для обеспечения сохранения среды обитания человека (рис. 1).

Традиционные параметры выемочных столбов, которые применяются, например, при разработке угольных пластов на шахте “Распадская”: длина очистного забоя $L_{оз1} = 200 - 250$ м; длина столба $L_{ст1} = 1000 - 2000$ м. Увеличение размеров выемочных столбов на угледобывающих предприятиях до $L_{оз2} = 300 - 350$ м, $L_{ст2} = 2000 - 4500$ м связано с требованиями повышения производительности очистных забоев и обеспечивается внедрением прогрессивных технико-технологических решений по ведению очистных работ [4–6].

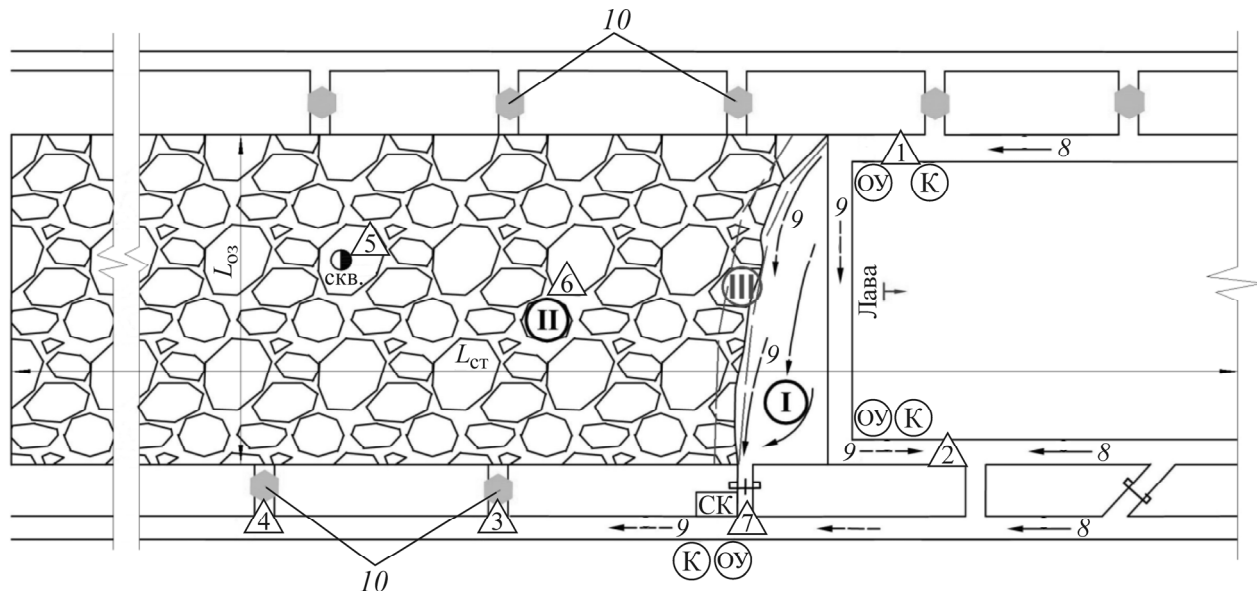


Рис. 1. Схема к оценке состояния атмосферы горных выработок и вентиляции очистного пространства при разработке угольного пласта. I — проветриваемая зона (область) для газуправления выработанным пространством; II — непроветриваемая область выработанного пространства; III — пожароопасная зона; $L_{оз}$ — длина очистного забоя; $L_{ст}$ — длина столба; К — датчики контроля O_2 ; ОУ — датчик контроля CO; СК — смесительная камера; скв. — контрольная скважина; 1–7 — места отбора проб воздуха; 8 — подача свежей струи воздуха; 9 — направление исходящей струи воздуха; 10 — взрывоустойчивые перемычки

Такая корректировка конструктивных параметров системы разработки характеризуется определенными достоинствами и недостатками.

К достоинствам можно отнести увеличение длины очистного забоя и столба, что позволяет: увеличить производительность труда рабочих за счет сокращения концевых операций на сопряжениях; уменьшить объем проходческих работ за счет уменьшения протяженности подготовительных выработок на отрабатываемых участках шахтопласта; уменьшить потери угля за счет сокращения количества межлавных целиков; снизить влияние повышенного горного давления (ПГД) на надрабатываемый пласт (уменьшается количество зон ПГД); более эффективно контролировать за счет уменьшения скорости подвигания забоя состояние кровли; экономить на ремонте оборудования.

Установлены также существенные недостатки, которые проявляются с увеличением геометрических параметров выемочных столбов: возрастает вероятность возникновения эндогенных пожаров из-за уменьшения скорости подвигания забоя и больших сроков сохранения (стояния) неизолированного выработанного пространства; труднее проветривать протяженные выработки вследствие влияния линейных сопротивлений; в случае аварии возникают проблемы с выводом людей из шахты и проведением горно-спасательных работ; трудно обеспечивать эффективное газуправление и отслеживать режим газуправления в силу роста размеров вы-

работанных пространств, протяженности газодренирующих выработок и трубопроводов. Указанные недостатки, которые возникают при увеличении геометрических параметров выемочных столбов, являются одними из основных факторов, оказывающих влияние на среду обитания человека, работающего на угледобывающем предприятии и проживающего в данном промышленном регионе на микро- и макроуровне. Влияние это напрямую связано с выбросами вредных веществ в подземные выработки, а также в атмосферу земной поверхности.

Учитывая данные факторы, к проектированию технологических схем добычи угля необходимо подходить не только с позиции повышения эффективности и обеспечения безопасности горных работ, но также с учетом возможности реализации экологически сбалансированного цикла комплексного освоения угольных месторождений. Обоснование оптимальных геометрических параметров выемочных столбов и параметров проветривания очистного участка позволяет минимизировать случаи самовозгорания и самонагрева угля за счет управления проветриванием, а также контролировать состояние выработанного пространства. Система мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя угольных шахт позволяет на стадии проектирования обосновывать рациональные геометрические параметры выемочных столбов.

Для эффективного проветривания выемочного участка необходимо: обеспечить проветривание действующих выработок в соответствии с нормами и правилами в области промышленной безопасности (скорость воздуха и концентрация метана) [7]; предотвращать образование скоплений метана в рабочей зоне, в том числе местных и в слоевых выработках; обеспечить поддержание концентраций метана в газодренажной сети, на газо-отсасывающих установках (ГОУ), в смесительных камерах в безопасных (нормативных и проектных) пределах; минимизировать проникновение газовой смеси из выработанного пространства в рабочую зону; поддерживать скорость воздуха в лаве и прилегающих выработках на уровне, не превышающем максимально допустимых пределов (в лаве — 4 м/с; в штреке — 6 м/с); в выработанном пространстве используемую для газуправления струю воздуха направлять по линии от точки подачи воздуха в лаву (сопряжение) до ближайшей к лаве газоотводящей сбойки.

В непроветриваемой области II выработанного пространства (рис. 1) от указанной линии до монтажной камеры (начало работы лавы) концентрация O_2 должна составлять не более 10 %, скорость фильтрации V_{ϕ} не должна превышать 10^{-5} м/с. Для создания наиболее благоприятных условий в непроветриваемой зоне выработанного пространства и минимизации случаев самовозгорания и самонагрева угля необходимо, чтобы значения концентрации O_2 и скорости фильтрации V_{ϕ} составляли предельно минимальные показатели. Например, для пожароопасных участков должна быть концентрация $O_2 < 10$ %, для участков с возникшими пожарами концентрация $O_2 < 3$ %. Снижение концентрации O_2 не дает развиваться очагам самовозгорания, а также способствует подавлению возникших пожаров.

В области I (рис. 1) от указанной линии в лаве (активно проветриваемая зона) концентрация O_2 составляет около 20 %, V_{ϕ} необходимо поддерживать более 10^{-3} м/с [8].

Граничную область III (рис. 1) между непроветриваемой и активно проветриваемой зоной необходимо максимально сужать, так как данный участок является пожароопасным. В указанной области: $O_2 > 10$ %; $10^{-3} > V_{\phi} > 10^{-5}$ м/с.

Соблюдение указанных параметров проветривания очистного участка, которые позволяют минимизировать случаи самовозгорания и самонагрева угля в выработанном пространстве, достигается за счет управления проветриванием с соблюдением баланса компрессии —

депрессии, позволяющей создать оптимальное распределение газоздушных потоков и обеспечить количество подаваемого воздуха, необходимого для разбавления метана в рабочей зоне, газодренажных выработках, ГОУ до безопасных концентраций.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Очаги самовозгорания являются источниками воспламенения и взрыва метана, случаи которых неоднократно происходили на шахтах Кузбасса за последнее десятилетие.

Шахты, разрабатывающие свиты угольных пластов, в перспективе планируют переход ведения горных работ на нижележащие горизонты (рис. 2). Промежуток между началом ведения горных работ на действующем горизонте и переходом на нижележащие пласты может составлять более 10 лет. Схемы подготовки выемочных участков, а также планирование горных работ при переходе на сближенные пласты на различных предприятиях отличаются незначительно. На шахтах разрабатываются свиты пологих угольных пластов с оставлением межлавных целиков, ширина выемочных участков на сближенных пластах различается. Целики между выемочными участками на смежных пластах на действующих шахтах оставляются параллельно, под углом или практически перпендикулярно друг другу. При параллельном расположении целиков они могут находиться соосно или со смещением относительно оси друг друга. Это приводит к формированию зон ПГД самых разнообразных форм и размеров [9].

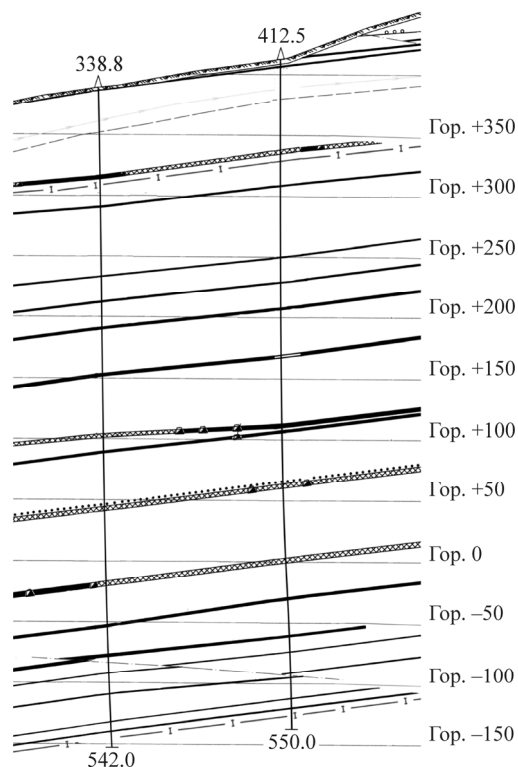


Рис. 2. Участок вертикального разреза шахты “Распадская”

Надрработка пластов имеет большие радиусы действия, достигающие 100 м и более [10], и создает благоприятные условия для газоотдачи. При трещиноватых породах газ в значительной степени дренируется. Таким образом, в определенных условиях надрработка существенно меняет агрегатное состояние надрбатываемого пласта и свойств пород междупластья, в частности их трещиноватость и газопроницаемость. В свою очередь при отработке пластов, склонных к

самовозгоранию, повышение трещиноватости и газопроницаемости пород междупластья приводит к перетокам газовой смеси и возникновению очагов самовозгорания в выработанных пространствах обрабатываемых пластов.

Наработанные и подработанные в условиях эффективной защиты участки угольных пластов характеризуются повышенной газопроницаемостью и скоростью газоотдачи, что при наличии газопроводящих трещин в породах междупластья способствует дегазации пластов, а также возможности образования активных аэродинамических связей с выработанным пространством. Это усиливает риск окисления угля, что впоследствии может привести к его самовозгоранию и явиться источником воспламенения метановоздушной смеси.

Установлены 16 факторов, определяющих эндогенную пожароопасность действующих выемочных полей шахт [11]: мощность пласта; наличие пожаров в граничных полях; глубина работ; химическая активность угля; тип пород кровли; наличие наносов глины на поверхности; наличие горелых пород на выходах пласта; наличие сближенных пластов в кровле обрабатываемого; угол падения пласта; газообильность выемочного поля; способ управления кровлей; размер выемочного поля по падению; скорость отработки по простиранию; потери угля; потери депрессии и количество подаваемого воздуха. Повышение депрессии и подачи воздуха в связи с ростом газообильности ведет к увеличению утечек воздуха через выработанное пространство.

Опыт определения аэродинамического состояния выработанных пространств позволяет использовать полученные результаты для моделирования распределения O_2 при проветривании выемочного столба комбинированным способом (рис. 3) [12].

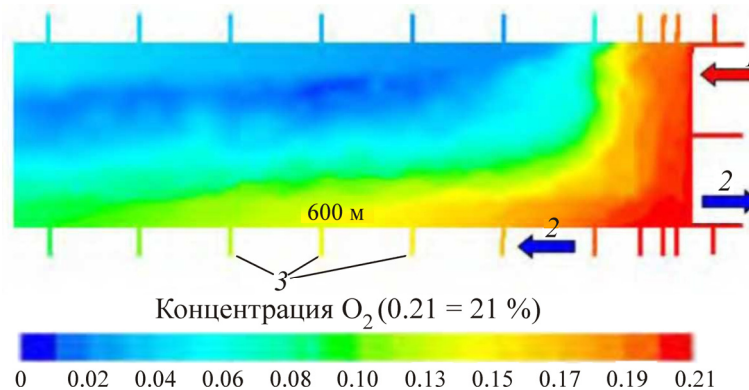


Рис. 3. Принцип распределения O_2 при проветривании выемочного участка комбинированным способом (в плане по данным моделирования): 1 — подача свежей струи воздуха; 2 — исходящая струя воздуха; 3 — газоотводящие сбойки; 600 м — расчетная область модели по линии увеличения выработанного пространства обрабатываемого участка

Движение газовой смеси в выработанном пространстве является важнейшим фактором, определяющим газовую и пожарную безопасность. В результате движения воздуха в выработки выносятся метан, создаются пожароопасные концентрации кислорода. Распределение кислорода в атмосфере выработанного пространства является важнейшим фактором, оказывающим влияние на процессы самонагрева и самовозгорания угля, остающегося в выработанном пространстве в виде целиков, оставляемых при выемке по разным причинам пачек угля, просыпей и т. д. На основании полученных данных о высоком удельном весе эндогенных пожаров, возникающих в выработанном пространстве, установлено, что указанный фактор определяет общую эндогенную пожароопасность участков и шахты в целом. Концентрация кислорода в атмосфере выработанного пространства — показатель, который оказывает влияние

на термодинамику выработанного пространства и обусловлен горнотехническими факторами — способами и схемами проветривания, проницаемостью выработанного пространства, устойчивостью и проницаемостью охранных целиков, скоростью подвигания очистного забоя. Показатели, характеризующие распределение концентрации кислорода в атмосфере выработанного пространства, позволяют связать между собой происходящие в нем аэрогазодинамические и термодинамические процессы.

Для определения аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя в настоящее время разрабатывается система мониторинга, которая включает: определение до начала отработки выемочного участка характерных для данного пространства точек отбора проб — скважин, перемычек, ГОУ, камер смешивания и т. п.; при отработке выемочного участка отбор проб из выработанного пространства и их анализ в динамике; определение мест контроля расхода воздуха и депрессии по выработкам выемочного участка для определения глубины проветривания выработанного пространства; контроль фактической добычи с выемочного участка для определения шагов обрушения; контроль атмосферного давления на момент отбора проб; построение двумерных карт распределения газов на основании динамики отбора проб; разработку оперативных рекомендаций по проветриванию выемочного участка на основании карт распределения газов в выработанном пространстве.

В качестве примера приведены результаты моделирования выемочного участка угольного пласта шахты “Распадская” лавы 4-9-23, основанные на фактических наблюдениях и измерениях. Выемочный участок обрабатывался в условиях ОАО “Распадская” с мая 2012 до августа 2014 г.

Наблюдения за концентрацией кислорода в атмосфере выработанного пространства осуществлялись с помощью отбора проб за перемычками, изолирующими выработанное пространство лавы, и из контрольно-профилактических скважин, пробуренных в выработанное пространство.

Установлено, что пласт № 9 отнесен к категории склонных к самовозгоранию. Время инкубационного периода самовозгорания угля — 55 сут.

В стратиграфическом разрезе пласт № 9 залегает ниже пласта № 10 на 31.3–39.0 м (рис. 2). Гипсометрия пласта № 9 пологоволнистая, углы падения составляют 6–10°. Угольный пласт имеет сложное строение, содержит 1–4 породных прослоя мелкозернистых алевролитов, суммарной средней мощностью 0.03 м. Крепость алевролитов породных прослоев $f = 2 - 3$, предел прочности на сжатие угля $\sigma_{сж} = 13.5$ МПа. Полная мощность пласта изменяется от 1.25 до 1.90 м, составляя в среднем 1.76 м. Средняя суммарная мощность чистых угольных пачек 1.68 м.

Уголь марки ГЖ, технологической группы 2ГЖ. Крепость угля $f = 0.8 - 1.4$, влажность угля $W = 2.3$ %, зольность чистых угольных пачек $A_{dy} = 0.8$ %, зольность общепластовая $A_{dnt} = 15.3$ %, выход летучих компонентов $V_{daf} = 38.3$ %, толщина пластического слоя $Y = 19$ мм, объемный вес чистых угольных пачек 1.31 т/м³.

Для исключения образования местных скоплений метана при проветривании выемочного участка 4-9-23 пласта № 9 предусматривалось применение комбинированной схемы проветривания с отводом метановоздушной смеси из выработанного пространства за счет общешахтной депрессии в смесительную камеру. Подача свежей струи воздуха для проветривания выемочного участка осуществлялась по вентиляционному штреку. Исходящая струя воздуха выдавалась по конвейерному штреку 4-9-23 через ближайшую передовую сбойку на вентиляционный штрек 4-9-25 и далее по сети горных выработок — на поверхность. Движение воздуха по очистному забою 4-9-23 — нисходящее. Проветривание конвейерного штрека 4-9-23 — обособленное. Смесительная камера при отработке выемочного участка 4-9-23 оборудовалась в вентиляцион-

ном штреке 4-9-25 на сопряжении задней сбойки с конвейерного штрека 4-9-23. Воздух для разбавления метановоздушной смеси, выдаваемой в смесительную камеру, поступал по вентиляционному штреку 4-9-25. На выемочном участке 4-9-23 осуществлялась предварительная дегазация разрабатываемого пласта № 9 восходящими параллельно-одиночными скважинами с конвейерного штрека 4-9-23 и нисходящими параллельно-одиночными скважинами с вентиляционного штрека 4-9-23. С конвейерного штрека 4-9-23 скважины были пробурены параллельно очистному забою, с вентиляционного штрека 4-9-23 — ориентированы на забой лавы с углом встречи 10° . Коэффициент эффективности предварительной дегазации составил $K_{\text{дег}} = 0.2$.

При обработке данных по содержанию кислорода в выработанном пространстве лавы 4-9-23 выделено три периода: наблюдение за выработанным пространством в период с мая 2012 г. до мая 2013 г. (до аварии, произошедшей 06.05.2013 г.). В этот период осуществлялась подача газообразного азота по скважине 9-5 с контролем состава рудничного воздуха в выработанном пространстве в скважине 9-4 и за изолирующими перемычками с вентиляционного штрека 4-9-25; период с мая по декабрь 2013 г. связан с проведением аварийно-технических работ по изоляции аварийного участка пласта № 9, дальнейшим сокращением границ пожарного участка, ликвидацией пожара и вскрытием аварийного участка лавы 4-9-23; в период с декабря 2013 г. по июль 2014 г. выработанное пространство контролировалось 15 контрольно-профилактическими скважинами и 13 сбоями с выработанным пространством лавы через пробоотборные трубы взрывоустойчивых перемычек. Последний период выделен как наиболее показательный.

Система мониторинга данного выемочного участка заключалась в ежесуточном отборе проб из контрольных точек с последующим построением динамики контролируемых показателей, ежедекадном замере депрессии на изолирующих перемычках, построении двухмерных карт распределения кислорода в выработанном пространстве.

При мониторинге выработанного пространства лавы 4-9-23 выявлены следующие основные тенденции повышения концентрации кислорода: изменение режима проветривания лавы; аэродинамическая связь с выработками, имеющими выход на поверхность; увеличение зоны проветривания выработанного пространства; “обтекание” области подачи азота через аэродинамические каналы выработок за лавой; увеличение подачи газообразного азота через скважины отсечного ряда; рост атмосферного давления; увеличение интенсивности проветривания части выработанного пространства; выравнивание дневных температур с шахтной атмосферой; “подпор” уклонов естественной тягой; устойчивая аэродинамическая связь выработанных пространств; геологические нарушения, пересекающие выработанные пространства; трещиноватость массива и др.

Например, 04.01.2014 г. произошло резкое повышение концентрации кислорода с 4.5 до 11 % в скважине 9-13 из-за изменения режима проветривания лавы (рис. 4). Кроме того, в районе скважины сформировалась аэродинамическая связь с уклонами пласта № 9, имеющими выход на поверхность. В дальнейшем тенденция повышения содержания кислорода в районе скважины сохранялась.

На основании полученных результатов исследований по лаве 4-9-23 установлено, что метод мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя наглядно показывает состояние газовой обстановки на выемочном участке с различными геометрическими параметрами выемочного столба. Данный метод рекомендуется использовать не только для мониторинга выработанного пространства по O_2 , но и по другим газам — CH_4 , CO_2 , CO , SO_2 и Rn , а также для оперативного принятия решений по управлению проветриванием выемочных участков.

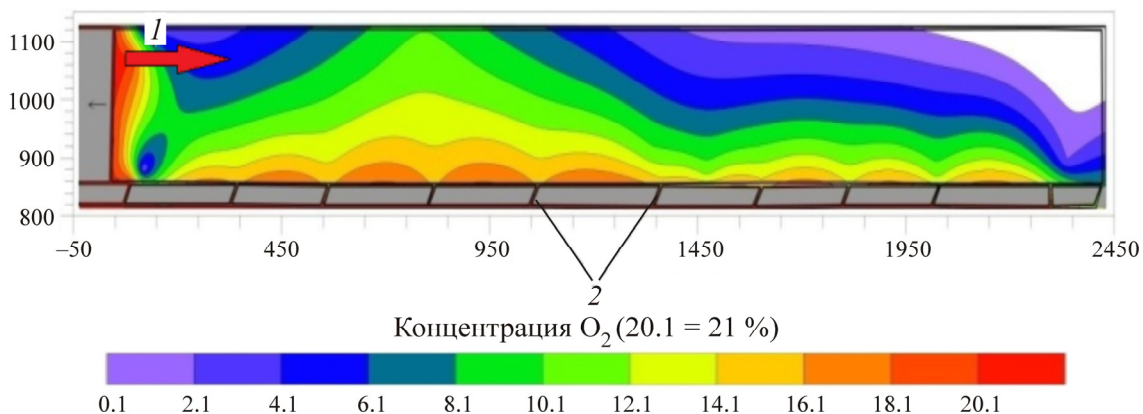


Рис. 4. Распределение концентрации O_2 в пределах выработанного пространства лавы 4-9-23 (в плане): 1 — подача свежей струи воздуха; 2 — газоотводящие сбойки; $-50 \div 2450$ м — расчетная область модели по линии движения очистного забоя; $800 \div 1100$ м — расчетная область модели по длине очистного забоя

При проектировании горных работ использование системы мониторинга выработанного пространства позволяет решать обратную задачу — построение сценариев (модели) и динамики распределения кислорода в выработанном пространстве с различными геометрическими параметрами выемочных столбов в виде двухмерных карт. В процессе ведения очистных работ проектные параметры контролируются в соответствии с экспериментальными данными, полученными в натуральных условиях.

Разработана пошаговая инструкция построения карты распределения O_2 в выработанном пространстве выемочного участка:

Формирование массива данных в программе EXCEL

1. Построение таблицы с характеристиками: X — координата X объекта контроля (скважина, перемычка, сопряжение); Y — координата Y объекта контроля (скважина, перемычка, сопряжение); O_2 — концентрация кислорода на объекте контроля.
2. Сохранение данных в текстовом файле с табуляцией в меню “Файл – Сохранить как”.
3. Для корректного построения сетки в программе SURFER в текстовом редакторе необходимо с помощью автозамены заменить все запятые на точки.
4. В любом файловом менеджере переименовываем расширение скорректированного файла на *.DAT.

Формирование сетки интерполяции в программе SURFER

5. Открываем файл *.DAT через пункт меню “Grid-Data”.
6. В открывшемся меню построения сетки выбираем способ построения сетки “Gridding Method – Kriging”.
7. В поле “Grid Line Geometry” задаем минимальные и максимальные значения X, Y в соответствии с таблицей EXCEL.
8. В поле Spacing указываем шаг сетки интерполяции (чем меньше шаг, тем плавнее строится сетка).
9. Нажимаем OK, идет формирование отчета о построении сетки.
10. Полученные данные сохраняем в файл типа *.GRD.

Построение карты распределения кислорода в программе SURFER

11. Открываем файл *.GRD через пункт меню “Map – New – Contour Map”.

12. В верхней левой части экрана в меню редактирования объектов выделяем объект *Levels*.

13. В левой нижней части экрана выполняем следующие преобразования получившейся карты распределения кислорода:

— во вкладке *Fill Contours* в пункте *Fill Colours* выбираем заливку *Rainbow*;

— значения *Fill Contours* изменяются от 0 до 21;

— поставить галочки на пунктах *Fill Contours* и *Color Scale*;

— во вкладке *General* выставляем минимальные и максимальные значения соответственно 0 и 21; значение *Contour Interval* — 2.

Разработанный метод мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя позволяет на стадии проектирования обосновывать конструктивные параметры выемочных столбов при разработке месторождений угля с сокращением выбросов газов CH_4 , CO_2 , CO , SO_2 , Rn в атмосферу горнотехнической системы, а также выбросов CH_4 , CO_2 в атмосферу поверхности в ореоле влияния горнотехнической системы. Минимизация концентрации O_2 в пределах выработанного пространства лавы проектируется и затем контролируется с помощью отбора проб за перемычками, изолирующими выработанное пространство лавы, и из контрольно-профилактических скважин, пробуренных в выработанное пространство. Осуществляется также контроль за концентрацией выделяемых газов в атмосферу.

В настоящее время на основе предложенного метода мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя разрабатывается способ предотвращения возникновения эндогенных пожаров в пространстве выемочных участков угольных шахт. Способ применим при отработке угольных пластов с использованием механизированных угледобывающих комплексов, включающих выемочные комбайны и механизированные крепи при различных схемах проветривания выемочного участка — возвратноточной, прямоточной, комбинированной (в том числе с изолированным отводом метановоздушной смеси). Способ заключается в формировании после прохождения угледобывающего комплекса на выемочном участке специальных полос (барьеров) для консервации выработанного пространства.

Сопоставление результатов, полученных методом мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя и методом обнаружения и локализации очагов подземных пожаров по выделению радона [13], позволяет регулировать распределение концентрации O_2 в пределах выработанного пространства лавы для исключения случаев самовозгорания и самонагревания угля за счет управления проветриванием и контроля за состоянием выработанного пространства.

Для минимизации воздействия на среду обитания человека отвалов вмещающих пород, которые выдаются при проходке подготовительных выработок и складированы на поверхности, обоснованы схемы подготовки угольных участков с проходкой подготовительных выработок по углю и использованием специальных составов для изоляции угольного массива от негативного влияния кислорода. Переход на эти схемы позволит исключить случаи самовозгорания и самонагревания угля.

ВЫВОДЫ

Определены основные положения системы мониторинга и управления состоянием атмосферы угольной шахты для обеспечения экологически сбалансированного цикла комплексного освоения угольных месторождений. Проектирование конструктивных параметров выемочных столбов при разработке угольных месторождений необходимо проводить с учетом минимизации воздействия на состояние окружающей среды. Оптимизация геометрических параметров

выемочных столбов и обоснование рациональных параметров проветривания очистного участка позволяет минимизировать случаи самовозгорания и самонагрева угля за счет реализации разработанной системы мониторинга состояния выработанного пространства.

Разработанный метод мониторинга аэродинамического состояния выработанного пространства очистного забоя позволяет наглядно оценивать и анализировать состояние газовой обстановки на выемочном участке с различными размерами выемочного столба. Данный метод рекомендуется использовать не только для мониторинга выработанного пространства по O_2 , но и по другим газам — CH_4 , CO_2 , CO , SO_2 и Rn , а также для оперативного принятия решений по управлению проветриванием выемочных участков. При проектировании горных работ применение разработанной системы мониторинга состояния выработанного пространства дает возможность решать обратную задачу — построение в виде двухмерных карт сценариев (модели) и динамики распределения O_2 в выработанном пространстве с различными геометрическими размерами выемочных столбов. В процессе ведения очистных работ проектные параметры корректируются с учетом экспериментальных данных, полученных в натуральных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. и др. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 2 // ГИАБ. — 2015. — № 2.
2. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. — 2015. — № 1.
3. Горбатов В. А., Игишев В. Г., Попов В. Б. и др. Защита угольных шахт от самовозгорания угля. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001.
4. Ордин А. А., Клишин В. И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. — Новосибирск: Наука, 2009.
5. Ордин А. А., Метельков А. А. К вопросу об оптимизации длины и производительности комплексно-механизированного очистного забоя // ФТПРПИ. — 2013. — № 2.
6. Ордин А. А., Никольский А. М., Метельков А. А. Моделирование и оптимизация технологических параметров очистных и подготовительных работ в панели угольной шахты // ФТПРПИ. — 2013. — № 6.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности в угольных шахтах”. Серия 05. Вып. 40. — М.: ЗАО “Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности”, 2014.
8. Говорухин Ю. М. Разработка метода оценки параметров воздухораспределения для снижения скорости окислительных процессов в выработанном пространстве угольных шахт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово: СибГИУ, 2012.
9. Прохвятилов С. А., Еременко В. А., Никитин С. Г., Милетенко Н. А., Ерусланов А. П. Геодинамическое районирование в угольной шахте // ГИАБ. — 2013. — № 9.
10. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. — М.: Недра, 1980.
11. Руководство по борьбе с эндогенными пожарами на шахтах Минуглепрома СССР. — Донецк, 1990.
12. MDG 1006 Spontaneous Combustion Management — Technical Reference — Mine Safety Operations Branch Industry and Investment NSW, May 2011.
13. Руководство по обнаружению и локализации очагов подземных пожаров по выделению радона. — Кемерово: РосНИИГД, 1998.