

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЗОН ЗАГАЗИРОВАНИЯ ШАХТЫ ПРИ ЭКЗОГЕННОМ ПОЖАРЕ

Сформульовано основні вимоги до локалізації зон загазування шахтної вентиляційної мережі під час екзогенної пожежі та описано метод рішення цієї задачі з використанням вентиляційних та протипожежних дверей.

THE LOCALIZATION OF GAS-ZONES OF MINE IN A PERIOD OF EXOGEN-FIRE

The main requirements for localization of gas-zones of mine ventilation network in a period of exogenous-fire were formulated and the method of decision of this problem with the using of ventilation and against-fire doors was described.

Основным требованием к устанавливаемому в шахте на период ликвидации экзогенного пожара аварийному вентиляционному режиму является обеспечение им выхода людей по незагазированным выработкам. Обеспечение указанного требования может быть достигнуто подачей в аварийные выработки шахтной вентиляционной сети (ШВС) достаточного количества воздуха; однако во многих случаях это количество будет неоправданно завышено. Увеличением депрессии главных вентиляторных установок (ГВУ) будет достигнут и отрицательный эффект, заключающийся в подаче излишнего количества воздуха в неаварийные выработки. Это приведет к увеличению расхода электроэнергии на проветривание, скорости воздушной струи в выработках, увеличению запыленности и проявлению других негативных факторов, затрудняющих ведение горноспасательных работ. Лучшим выходом является местное регулирование - локальное изменение направления (или только дебита) газоздушного потока в отдельных выработках шахт увеличением или уменьшением аэродинамического сопротивления звеньев ШВС при сохранении нормальной работы ГВУ. Одним из методов изменения этих сопротивлений является закрытие (открытие) противопожарных или вентиляционных дверей. Вентиляционные аспекты местного регулирования воздушного потока в выработках рассмотрены в литературе достаточно широко. Газодинамические аспекты его исследованы несравненно хуже, несмотря на то, что, как отмечают авторы [1], целями управления вентиляционными и противопожарными дверями в аварийных условиях являются:

1 Сокращение расхода воздуха, поступающего к очагу пожара (т.е. снижение интенсивности горения).

2. Предотвращение поступления воздуха с высоким содержанием метана к очагу пожара, чем будет снижена опасность взрывов в ходе ликвидации аварии.

3. Перераспределение воздуха с целью снижения концентрации пожарных газов в наиболее опасных точках аварийного и угрожаемых участков и маршрутов аварийной эвакуации людей.

4. Временная изоляция выработок до момента проведения первоочередных мероприятий в соответствии с ПЛА.

5. Повышение устойчивости вентиляционных струй при пожарах в наклонных выработках.

6. Осуществление местного реверсирования вентиляционных струй в аварийных и прилегающих к ним выработках.

7. Усиление проветривания выработок при обрушениях кровли выработок, повреждении устройств местного регулирования проветривания и т.д.

8. Быстрое восстановление режима проветривания после принятия необходимых мер по ликвидации аварии.

Из сформулированных целей пять (п.п. 1,3,4,6,7) непосредственно направлены на ограничение возникающих зон загазования ШВС; три оставшихся решают эту задачу косвенно.

Анализ литературы показывает, что на горных предприятиях имеются определенные предпосылки для решения задач местного регулирования газовоздушных потоков в аварийных условиях. Именно, практически все шахты обеспечены необходимыми количеством противопожарных дверей; в Донецком угольном бассейне на одну шахту приходится в среднем 51 вентиляционное сооружение, в Кузбассе - 54 и т.д. Из них 76,9% в Кузбассе, 98,2% в Карагандинском угольном бассейне составляют вентиляционные двери, среди которых есть автоматические (в Кузбассе – 5,3%). В общем на предприятиях бывшего Минуглепрома СССР автоматизировано более 1,3% вентиляционных сооружений.

Вместе с тем ситуация осложняется рядом технологических, технических и организационных причин. Основными из них являются следующие:

1. Противопожарные двери, регламентированные Правилами безопасности, предназначены для изоляции пожарного участка, т.е. достижения целей 1,2,4, приведенных выше. Это может быть обеспечено максимальным повышением их аэродинамического сопротивления. Однако, как показали исследования [1], это требование весьма трудноосуществимо. Установка противопожарных дверей в магистральных выработках, оборудованных рельсовыми путями, затрудняет герметизацию зазоров между почвой выработки и дверным полотном; при их закрытии расход воздуха в выработке снижается всего на 30-50%. Даже при установке противопожарной двери в выработке, где отсутствуют рельсовые пути, воздухопроницаемость обычно находится в пределах 2-4 м³/с, что в аварийных условиях неприемлемо. Сопротивление двери в последнем случае составляет 50-60 Н*с²/м⁸. По нормативным же документам утечки не должны превышать 20-50 м³/мин; сопротивление двери для этого должно быть в пределах 70 – 450 Н*с²/м⁸.

2. Аналогичная картина наблюдается и с вентиляционными дверями. По результатам обследования трёхсот лучших вентиляционных дверей Кузбасса установлено, что фактические утечки воздуха превышали нормированные: в 2 раза - в 15% случаев, в 2 - 6 раз - в 28% случаев, в 6 - 10 раз – в 21% случаев, более 10 раз – в 36% случаев.

3. Во многих случаях противопожарные двери не снабжены устройствами автоматического дистанционного управления; закрытие же их бойцами при-

бывшего в шахту ВГСО вручную сводит практически на нет локализирующий эффект дверей, поскольку осуществляется с большим запаздыванием.

4. Не все вентиляционные двери снабжены устройствами, исключающими их самопроизвольное открывание.

5. Во многих случаях недостаточно защищен механизм закрывания двери; это приводит к поломке ее при прохождении состава и невозможности закрытия двери вручную без применения специальных методов.

6. Отсутствует единая, основанная на расчетных и экспериментальных данных, методика определения мест установки вентиляционных и противопожарных дверей в шахте, обеспечивающая эффективное решение задач локализации аварийной зоны.

7. Отсутствует методическое и программное обеспечение комплексного решения этой задачи имеющимися в шахте техническими средствами.

Организация местного регулирования газоздушных потоков при возникновении аварий предполагает необходимость решения двух основных задач. С одной стороны, необходимо усовершенствовать конструкции вентиляционных и противопожарных дверей с тем, чтобы мероприятия по организации аварийной вентиляции могли быть реализованы максимально эффективно. С другой - разработать методы управления существующим базисом технических средств местного регулирования, оценить эффективность указанного базиса и, при необходимости, повысить ее путем выбора мест установки и технических характеристик дополнительных регулирующих устройств (РУ) в выработках ШВС.

Пусть направление движения газоздушных потоков в выработках ШВС (i,j) принимается от узла i к узлу j . Для всех выработок известны аэродинамические сопротивления $R(i,j)$, причем для $(i,j) \in V_p$ – множеству выработок, в которых возможна установка РУ, сопротивление может принимать два значения: $R(i,j)$, если имеют место нормальные условия функционирования, и $R^*(i,j)$ в аварийной ситуации. Очевидно, что для противопожарных дверей $R(i,j) \ll R^*(i,j)$, а для вентиляционных $R(i,j) > R^*(i,j)$. Для всех ГВУ известна депрессия $H_b(i,j)$ в аварийном режиме работы; предполагается, что к моменту решения задачи местного регулирования этот режим выбран и осуществлен.

Пусть пожар возник в выработке (i^*,j^*) и своевременно обнаружен, т.е. меры по локализации зоны загазирования принимаются в момент, когда $\{(i,j), C(i,j) \neq 0\} = \emptyset$. В указанных предположениях для решения задач местного регулирования необходимо минимизировать функционал

$$\Phi_{opt} = \sum_{\substack{(i,j) \in \mu(i',j') \\ \forall (i,j) \in \theta_3 \\ C(i,j) > C_{np} \quad \lambda(i,j) \neq 0 \\ (i,j) \in V_p \Rightarrow (i,j) \notin \mu(i',j')}} L(i,j),$$

где l – номер аварийного вентиляционного режима; $L(i,j)$ – длина выработки (i,j) ; $\mu(i',j')$ – маршрут аварийной эвакуации горнорабочих от места их нахождения (i',j_k) на поверхность (к узлу j'); $C(i,j)$ – концентрация газообразных продуктов горения в (i,j) ; θ_3 – зона загазирования ШВС продуктами горения, т.е.

$(i,j) \in \theta_3 \Rightarrow C(i,j) \neq 0$; C_{np} – предельно безопасная концентрация газообразных продуктов горения (если $C(i,j) > C_{np}$, то (i,j) нежелательна для включения в $\mu(i',j')$); $\lambda(i,j)$ – человекоемкость (i,j) , т.е. предположительное количество людей в (i,j) в рассматриваемый момент времени, при ограничениях:

1. Воздухораспределение в ШВС подчиняется двум сетевым законам

$$\begin{cases} \sum_{i \in V_{un}^i} Q(i',j') = 0 \\ \sum_{(i,j) \in k} R(i,j)Q^2(i,j) + H_b(i,j) = 0, \end{cases}$$

где V_{un}^i - множество ветвей ШВС, инцидентных узлу i ; k – один из линейно-независимых циклов ШВС.

2. $t^*(i,j) \cong t(i,j)$, $(i,j) \in V_p$, т.е. температура газоздушного потока в выработках, где установлены РУ, меняется при пожаре незначительно. Тем самым становится возможным пренебречь опасностью изменения воздухопроницаемости РУ вследствие их нагрева и производить расчеты на основе объемных, а не массовых расходов воздуха $Q(i,j)$.

3. Образование θ_3 происходит на основе модели полного вытеснения, концентрация пожарных газов, истекающих из точечного источника, распределяется в сечении выработки равномерно, смешение потоков в узлах сети и установление единого уровня концентрации происходит мгновенно.

4. (i,j) считается загазированной, если хоть один из i или j попадет в зону загазирования.

5. Закон фильтрации газоздушной смеси через РУ аналогичен описывающему движение воздуха по выработкам $(i,j) \notin V_p$.

6. $C(i,j)$ при преодолении РУ не изменяется.

7. Закрытие (открытие) РУ производится при выборе аварийного вентиляционного режима полностью, т.е. изменение $R(i,j)$ на $R^*(i,j)$ и наоборот происходит мгновенно, без установки РУ в промежуточные положения.

8. Самопроизвольное изменение $R(i,j)$, $(i,j) \in V_p$ исключено.

С учетом перечисленных ограничений алгоритм решения задачи выглядит следующим образом:

1. Производится решение задачи воздухораспределения при аварийном вентиляционном режиме без использования РУ, т.е. определяется $\{Q(i,j)\}$ при использовании для $(i,j) \in V_p$ исключительно $R(i,j)$ (присвоим ему номер 1).

2. Формируется $\{C(i,j), (i,j) \in \theta_3^l\}$ при условии, что все РУ находятся в исходном, существовавшем до возникновения аварийной ситуации, положении.

3. Формируются маршруты $\mu(i,j)$ для $\forall (i,j_k) \in \theta_3^l \Rightarrow \lambda(i,j_k) \neq 0$, и рассчитывается величина Φ_l .

4. Производится моделирование очередного, l -того аварийного вентиляционного режима, “подозрительного на оптимальность”. Для этого:

- для всех выбранных $(i,j) \in V_p$ $R(i,j)$ заменяется на $R^*(i,j)$;
- рассчитывается новое $\{Q(i,j)\}$;
- формируется $\{C(i,j), (i,j) \in \theta_3^l\}$;
- строятся $\mu(i,j)$ для $\forall (i,j,k) \in \theta_3^l \Rightarrow \lambda(i,j,k) \neq 0$, и рассчитывается величина Φ_i .

5. Производится сравнение Φ_l и Φ_i , и режим, для которого $\Phi_{opt} = \min\{\Phi_l, \Phi_i\}$ принимается в качестве оптимального на данном этапе расчетного процесса. Процесс повторяется, начиная с п.4, с учетом того, что вновь рассчитанное значение Φ_{l+1} сравнивается с Φ_{opt} .

6. По окончании перебора режимов, “подозрительных на оптимальность”, полученное значение Φ_{opt} и характеризует оптимальный аварийный вентиляционный режим, осуществленный с применением средств местного регулирования.

Вместе с тем размерность базиса РУ реальной шахты может быть весьма значительной. Поэтому необходимо рассмотреть возможность сокращения времени решения задачи. Этому могут способствовать следующие факторы:

1. Требование $(i,j) \in V_p \Rightarrow (i,j) \notin \mu(i',j')$ весьма резко ограничивает в ряде случаев количество используемых для целей местного регулирования РУ. В самом деле, наиболее мощные с точки зрения локализации θ_3 РУ устанавливаются на магистральных выработках ШВС, где $Q(i,j)$ значителен; однако, как правило, эти $(i,j) \in \mu(i',j')$. Поэтому, если выявляется необходимость включения такой (i,j) в какой-либо маршрут $\mu(i',j')$, и при этом РУ закрыто – возникает две возможности. Если $\mu(i',j')$ может быть заменен на $\mu'(i',j')$ таким образом, чтобы $\tau_{\mu'(i',j')} < \tau_{c.c.}$, где $\tau_{\mu'(i',j')}$ – время движения по маршруту от i' к j' ; $\tau_{c.c.}$ – время защитного действия самоспасателя, используемого при аварийной эвакуации, то РУ, установленное в $(i,j) \in \mu(i',j')$, может быть использовано при осуществлении рассматриваемого аварийного вентиляционного режима. Если же маршрут $\mu'(i',j')$ не может быть сформирован физически (нет больше проходимых для людей выработок данного направления эвакуации, которыми можно заменить данную $(i,j) \in V_p$), или если $\tau_{\mu'(i',j')} > \tau_{c.c.}$ – режим с использованием РУ в (i,j) рассмотрению не подлежит.

2. Учет ограничения 7 также может сократить список оптимизируемых аварийных вентиляционных режимов. В самом деле, игнорировать переходный процесс, возникающий в ШВС при мгновенном изменении $R(i,j)$, $(i,j) \in V_p$, на $R^*(i,j)$, не представляется возможным. В условиях реального регулирования газоздушных потоков такое ограничение вообще неправомерно; учет его делает бессмысленным и абсолютно неадекватным положению в ШВС полученные результаты решения задачи. При моделировании же возможных последствий вентиляционных маневров для получения значений Φ_{opt} можно поступить двояким образом:

- изменив $R(i,j)$, $(i,j) \in V_p$ на $R^*(i,j)$, или наоборот, произвести новый расчет $\{Q(i,j)\}$, и путем сравнения его с $\{Q(i',j')\}$, полученным в результате расчета воздухораспределения без изменения $R(i,j)$, определить допустимость произведенного маневра. Если при этом произошло опрокидывание струй в прилежа-

ших участках ШВС, нежелательно изменилась θ_3 , а значит – ухудшилась картина аварийной эвакуации – маневр РУ в (i,j) не может быть признан желательным, и аварийный вентиляционный режим с его учетом не рассматривается;

- используя метод затухания возмущений воздухораспределения, предложенный в [1]. Результат, полученный с его применением, аналогичен получаемому описанным выше методом, однако не требует полного пересчета $\{Q(i,j)\}$.

При использовании указанных приемов в ходе оптимизации Φ_{opt} может возникнуть ситуация, когда существующий базис регулирующих устройств окажется недостаточным для решения задач, возникающих в аварийной ситуации, или когда осуществляемые вентиляционные маневры не приводят к улучшению условий аварийной эвакуации горнорабочих. Примером может служить ситуация, когда маневрирование РУ в (i,j) ограничивает θ_3 , выработки по ходу вентиляционной струи очищаются, эвакуация людей по ним облегчается, но люди, оставшиеся за закрытым РУ, оказываются отрезанными от запасного выхода ввиду отсутствия альтернативного маршрута или большой протяженности его части $\mu'(i',j') \in \theta_3$. Желательно найти альтернативное решение с тем же результатом действия, но базис РУ для этого недостаточен.

При возникновении указанной ситуации не удовлетворяющее условию РУ в (i,j) должно заменяться одним или несколькими РУ в (i_k, j_k) , оказывающими то же действие на выработки, находящиеся по ходу газовой струи от (i,j) . При этом необходимо учитывать, что сохранение для $(i,j) \in V_p$ сопротивления $R(i,j)$ позволит включить (i,j) в $\mu'(i',j')$; в то же время замена $R(i_k, j_k)$ на $R^*(i_k, j_k)$ может изменить другие $\mu'(i',j')$. Для определения $(i_k, j_k) \in V_p$ с целью установки в ней РУ, обладающими необходимыми для решения рассматриваемой задачи характеристиками, можно воспользоваться методом, изложенным в [2]. Именно, для всех $(i,j) \in V_p$ может быть рассчитана некоторая характеристика $K_{l,k}$ – коэффициент взаимосвязанности газовой струи, характеризующий изменение $Q(i_l, j_l)$ при изменении $Q(i_k, j_k)$. Иными словами, $Q(i_l, j_l) = Q^0(i_l, j_l) + K_{l,k} Q(i_k, j_k)$, где $Q(i_l, j_l)$, $Q^0(i_l, j_l)$ – расход воздуха в (i_l, j_l) после и до изменения $R(i_k, j_k)$ соответственно. Поскольку, по условию задачи, $Q(i_l, j_l)$ – величина заданная, $Q^0(i_l, j_l)$ – также известно из расчета аварийного вентиляционного режима при неизменности всех $R(i,j)$, $(i,j) \in V_p$, $K_{l,k}$ – величина инвариантная, практически неизменная при любых вентиляционных маневрах для данной ШВС – значение $Q(i_k, j_k)$ может быть легко определено. Тем самым может быть определено и $R^*(i_k, j_k)$, которое обеспечит необходимое $Q(i_l, j_l)$. Нужно лишь помнить, что $\forall (i_k, j_k)$ должны выбираться из множества V_p , и притом по критерию минимума затрат на их установку и эксплуатацию и при условии соблюдения других требований ПБ и ПТЭ.

Предложенный метод может найти применение в экспертной системе, предназначенной для выработки рекомендаций по совершенствованию систем противоаварийной защиты шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. - М.: Недра, 1992. - 206 с.

УДК 622.831

В.В. Зберовский

**УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ РАЗРУШЕНИЕМ В СИСТЕМЕ
“УГОЛЬ-ГАЗ” НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ**

На підставі результатів експериментальних досліджень та аналізу системи “вугілля-газ” на великих глибинах пропонуються нові принципи управління газодинамічним руйнуванням у вуглегазовому масиві через свердловини.

**THE CONTROL OF GAS-DYNAMICS DESTRUCTION IN A SYSTEM
"COAL-GAS" ON THE BIG DEPTHS**

On the basis of the results of experimental investigations and analysis of system "coal-gas" on the big depths the new principles of control the gas-dynamical destruction in coal-gas massive across chincs was suggested.

На основании многочисленных результатов исследований по решению проблемы выбросов угля и газа, газовой выделения в дегазационные скважины и интенсификации процесса дегазации написаны десятки отчетов, статей и монографий. Однако несмотря на их количество единой, целостной теории в решении проблемы газодинамических явлений до настоящего времени не существует. Предложенные гипотезы и сформировавшиеся на их основе представления о состоянии и взаимодействии угля и газа со временем стали общепринятыми, но не общепризнанными, и не претерпели никаких значительных изменений по настоящее время [1].

В то же время, в условиях больших глубин, геологическая среда представляет собой анизотропную, гетерогенную, неоднородно-трещиноватую систему, в которой горные породы переходят или уже находятся в предельном и запредельном состоянии. Считается, что и в этих условиях, взаимодействие между углем и угольным метаном в системе “уголь-газ” изменяется на физико-химическом уровне. Поэтому, несмотря на произошедшие и происходящие в результате угольного генезиса и метаморфизма природные преобразования, по-прежнему исследуется взаимодействие двух веществ угля и газа.

Сложность решения проблемы метана заключается в том, что все исследования продолжаются на уже трансформированных образцах угля, которые не соответствуют физическому состоянию массива на больших глубинах. Создать же аналог, существующей в условиях больших глубин природной системы “уголь-газ”, в лабораторных условиях пока невозможно, так как твердые (уголь) и газообразные (метан) углеводороды изначально образуют единую природную углегазовую систему.

По мере углубления горных работ возрастает уровень знаний о этой системе, а сама система “уголь-газ” приближается к своему природному состоянию. Одновременно анализ ее состояния показывает, что при приближении к земной