

После отхода лавы от разрезной печи на 500 м средняя потеря проектной площади поперечного сечения штрека составила не более 35 %. Подтверждена возможность повторного использования конвейерного штрека в качестве вентиляционного при условии производства в нем подрывки на 0,8-1,0 м выдавленных пород почвы. Затраты на восстановление 1 м повторно используемого конвейерного штрека на 700 грн. меньше по сравнению с проведением нового вентиляционного штрека вприсечку к выработанному пространству ранее отработанных лав.

Опыт 2-й южной лавы стал основой для проектирования отработки 1 и 2-й южных лав центральной панели блока № 8, 1 и 2 южных лав блока № 2.

Внедрение описанной технологии охраны штреков на пологих пластах с использованием литых полос и анкерных систем позволяет не только реализовать известные геомеханические принципы охраны выработок, но и практически обеспечить внедрение прямоточной схемы проветривания на высокогазоносных пластах для достижения стабильных нагрузок до 3-4 тыс. тонн в сутки.

УДК 622.822.24/.3:519.873

И.А. Яценко, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Сформульовано основні критерії та проаналізовано вимоги до показників надійності функціонування системи протиаварійного захисту вугільної шахти. Зроблено висновок про те, що, внаслідок різних якісних та кількісних показників розглянутих критеріїв, неможливо отримати аналітичне рішення задачі оцінки надійності у загальному вигляді, і для цих потреб необхідно послідовно аналізувати критерії, які мають точний аналітичний опис, та критерії, застосування яких потребує використання методів імітаційного моделювання процесів протікання техногенних аварій. Якщо такий підхід не дозволяє вирішити задачу – потрібно використовувати методи експертних оцінок та створити для цього оригінальну експертну систему.

TO THE QUESTION ESTIMATE RELIABILITY FUNCTION OF SYSTEM ANTI-REPAIR DEFENCE OF COAL MINE

The main criterions was formulated and the demands to indexes reliability function of system anti-repair defence of coal mine was analyzed. Conclusion, that, in consequence of different qualitative and quantitative indexes of considered criterions, impossible to receive analytic decision task estimate of reliability in common sight, was maked. For this needs consequetively analyse criterions, which have accurate analytic description, and criterions, use of which demands methods imitation model processes flow of technogen accidents. If such approach don't permit decide the task – needs to use methods of expert estimates and create for this original expert system.

Как известно, Правилами безопасности в угольных шахтах [1] регламентируется разработка в проекте строительства (реконструкции) каждой шахты раздела "Противопожарная защита". В приложении к Правилам безопасности это требование конкретизируется (ДНАОП 1.1.30-5.34-96) [2]. Однако анализ ука-

занных нормативных документов показывает, что они направлены в основном на решение технических аспектов проблемы ликвидации возникающих шахтных аварий. Именно, п. 6.1.3 [1] определяет количество и вид технических средств противопожарной защиты, применяемые огнетушащие средства, источники и средства подачи воды для пожаротушения, запас специальных огнетушащих средств и т.д. В то же время в угольной промышленности отсутствует единый подход к выбору базиса перечисленных средств противопожарной защиты, что затрудняет оптимизацию их количества, мест установки и технических характеристик. Это утверждение может быть проиллюстрировано следующим примером. Одним из наиболее действенных средств борьбы с пожарами является снижение подачи воздуха к пожарному очагу путем закрытия противопожарных дверей. Их технические характеристики в большинстве случаев таковы, что позволяют в 20 и более раз сократить расход воздуха в выработке, где они установлены, и, тем самым, облегчить проведение аварийной эвакуации людей и горноспасательных работ. Однако существующими нормативными документами регламентируется установка противопожарных дверей лишь в околовольных выработках с целью предотвращения самопроизвольного опрокидывания вентиляционных струй под действием тепловой депрессии пожара. Вопрос достаточности такого базиса противопожарных дверей является спорным; кроме того, отсутствуют данные о реальном изменении расходов воздуха при различных вариантах манипулирования противопожарными дверями. Пока вопрос о расширении базиса противопожарных дверей не будет отражен в нормативно-методической документации, исследования вопросов управления вентиляционными потоками при возникновении аварий останутся сугубо теоретическим.

Другим аспектом рассматриваемой проблемы является необходимость и достаточность использования средств противоаварийной защиты при составлении и вводе в действие плана ликвидации аварий (ПЛА). Поскольку составление ПЛА производится заблаговременно, при выборе его мероприятий довольно широко используются многовариантные расчеты аварийных вентиляционных режимов и тактических мероприятий ПЛА с использованием методов математического моделирования и компьютерных программ. В этой области известны работы НИИГД, ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины и других академических и отраслевых организаций. Проведенные исследования показали, что, если даже шахта полностью выполнила требования документов [1,2], и все необходимые средства противоаварийной защиты имеются в наличии, исправны и учтены при разработке ПЛА, в ряде случаев более эффективное решение может быть получено, если в систему противоаварийной защиты ввести дополнительные технические средства. Это относится к расширению базиса противопожарных дверей (в настоящее время решение этой задачи практически невозможно, поскольку, как уже отмечалось, отсутствует современная нормативная база, установка их является достаточно дорогостоящим мероприятием, а вопросы правомерности управления ими проработаны недостаточно), организации эффективной системы обнаружения пожаров путем оптимизации местоположе-

ния датчиков-детекторов пожарных газов с одновременной минимизацией их количества, выбору мест коллективного спасения шахтеров при невозможности их эффективной эвакуации и т.д. Решение этих задач в условиях действующей шахты затруднительно, и может быть рекомендовано на стадии проектирования.

И, наконец, третьим важным моментом является отсутствие единой понятийной базы и общепринятых подходов к оценке эффективности системы противоаварийной защиты. В самом деле, как оценить ее эффективность? В [1] приводятся (п. 6.1.1) лишь общие соображения: противопожарная защита шахты должна быть спроектирована и выполнена таким образом, чтобы предотвратить возможность пожара, а в случае его возникновения в любом месте и по любой причине обеспечивалась его эффективная локализация и тушение в начальной стадии. Дополнительная расшифровка этих понятий приводится в п. 6.1.2.

Правомерность указанных требований к противопожарной защите не вызывает сомнений. Однако она вызывает и ряд новых вопросов. Что значит "предотвратить возможность пожара"? Очевидно, что, пока существует механическая технология выемки угля, существует и вероятность отказа технических средств, за чем может последовать авария. Поэтому невозможно однозначно и эффективно определить стратегию ликвидации пожара в любом месте шахты по причине как невозможности доступа к ряду мест возможного возгорания, так и необходимости применять для этих целей различные методы и средства. И, наконец, в начальной стадии (этот термин также допускает различное толкование) удастся погасить лишь около 15 % экзогенных пожаров, что также свидетельствует о необходимости повышения эффективности противопожарной защиты; первым этапом решения этой задачи является разработка эффективных методов ее оценки, для чего необходимо проанализировать критерии такой оценки.

Ввиду сложности задачи комплексной оценки эффективности системы противоаварийной защиты в рамках настоящей публикации она будет анализироваться с учетом следующих ограничений:

1. Поскольку термин "противоаварийная защита" подразумевает ликвидацию всех возможных видов шахтных аварий, ограничимся на первом этапе противопожарной защитой, причем ее действием при возникновении экзогенных пожаров.

2. Анализ критериев оценки ограничим только вентиляционными аспектами противоаварийной защиты: установлением аварийного вентиляционного режима с использованием средств общешахтного и местного регулирования, повышением устойчивости проветривания и т.д.

Для полной оценки состояния и эффективности проветривания шахты, как многоцелевого технологического процесса, и ее газового режима используется комплекс показателей, как регламентированных нормативными документами, так и не регламентированных по численным значениям, но весьма важных в качественном смысле. Единого интегрального показателя, который бы мог харак-

теризовать состояние вентиляционной и дегазационной систем действующих шахт при возникновении аварии, в настоящее время не существует. Комплекс показателей включает в себя данные, характеризующие безопасность, санитарно-гигиенические условия и экономичность. Такое разделение параметров носит достаточно условный характер вследствие их тесной взаимосвязи и возможности изменения одних при изменении (корректировке) других.

К первой группе параметров, характеризующих в большей степени безопасность работ, относятся:

- **обеспеченность объектов проветривания воздухом.** Для условий аварийной ситуации этот параметр означает обеспечение поступления на аварийный объект количества воздуха, поддерживающего концентрацию газообразных продуктов горения на допустимом уровне, и в то же время создающего оптимальные условия аварийной эвакуации людей и ведения горноспасательных работ. Наиболее удобно характеризовать обеспеченность объектов проветривания коэффициентом обеспеченности $K_{об}$, представляющим собой отношение фактического расхода воздуха на объекте проветривания $Q_{факт}$ к расчетному Q_p :

$$K_{об} = \frac{Q_{факт}}{Q_{расч}}$$

Этот критерий является количественным; по степени обеспеченности объекты можно разделить на:

1. Не обеспеченные расчетным количеством воздуха ($K_{об} < 1,0$);
2. Обеспеченные расчетным количеством воздуха ($1,0 \leq K_{об} \leq 1,2$);
3. Обеспеченные избыточным количеством воздуха ($K_{об} > 1,2$).

Предполагаемое поступление на объект проветривания при аварии количества воздуха менее расчетного, определенного по любому из факторов ($K_{об} < 1$), является нарушением требований [1] и свидетельствует о неэффективности системы противоаварийной защиты при возникновении аварии в рассматриваемом объекте. При $1,0 \leq K_{об} \leq 1,2$ можно считать мероприятия противоаварийной защиты достаточно эффективными, а при $K_{об} > 1,2$ – необходимо проанализировать возможное нарушение ограничений по скорости движения воздуха, также недопустимое при авариях;

- **концентрация метана C в исходящей струе и местных скоплениях.** Критерий также является количественным; необходимость расчета его численных значений обуславливается тем, что повышение концентрации метана в аварийной выработке способно, при наличии источника горения или повышении температуры выше допустимых пределов, вызвать воспламенение метана или взрыв метановоздушной смеси. Численные значения критерия определяются, как

$$C = 100 \cdot I/Q,,$$

где I – газообильность выработки, Q – расход воздуха в ней.

- **скорость движения воздуха в выработке** зависит от расхода воздуха в выработке и ее сечения. От скорости движения воздуха на газообильных шахтах зависит также возможность образования местных и слоевых скоплений метана, особенно в тупиковых выработках.

При столбовых системах разработки с погашением вентиляционных выработок, особенностью которых является сосредоточенный вынос метана из выработанного пространства в погашаемую часть, распределение метана по сечению выработки формируется в соответствии с полями скоростей движения воздуха и давления в вентиляционной струе. Максимальная концентрация метана будет зависеть от средней концентрации в утечках воздуха через выработанное пространство и средней скорости движения воздуха в тупике. При скорости движения струи воздуха менее 0,2 м/с практически всегда можно ожидать образования местных скоплений метана; тем самым может создаваться аварийная ситуация, связанная с возможным взрывом метановоздушной смеси;

- **устойчивость проветривания** характеризуется стабильностью поступления воздуха на объекты проветривания как по расходу воздуха, так и по направлению движения струй. При возникновении аварийной ситуации участки ШВС, в которых имеет место нисходящее проветривание, представляют собой места потенциальной опасности, связанной с возможностью опрокидывания вентиляционных струй, образования контуров рециркуляции пожарных газов и т.д. Количественной оценкой устойчивости является величина изменения расхода воздуха и показатель устойчивости направления движения воздуха в диагонали (K_R), который определяется по формулам:

- для ветвей, опасных по увеличению сопротивления:

$$k_R = \frac{R_{н.ув}}{R_n}$$

- для ветвей, опасных по уменьшению сопротивления:

$$k_R = \frac{R_n}{R_{н.ум}}$$

$R_{н.ув}$, $R_{н.ум}$, R_n - соответственно измененное сопротивление определяющей ветви, опасной при увеличении сопротивления ($R_{ув}$), при котором прекращается движение воздуха в диагонали; опасной при уменьшении сопротивления ($R_{ум}$) и первоначальное его значение.

Глубина нарушения проветривания участка по расходу воздуха (K_Q) определяется как:

$$k_Q = \frac{Q_{изм}}{Q_{факт(расч)}}$$

$Q_{изм}$, $Q_{факт}$ - расход воздуха на выемочном участке после любых изменений аэродинамических параметров проветривания и до них и расчетный.

При $K_Q \leq 0,5$ - проветривание считается неустойчивым по расходу воздуха.

Изменение направления движения струи в любой выработке вентиляционной сети (их опрокидывание), включая утечки воздуха, вызывает нарушение нормального режима проветривания;

- **утечки воздуха через вентиляционные сооружения.** Их допустимые величины регламентируются нормативными документами, что позволяет оценить состояние каждого из них путем сопоставления фактических и нормативных величин потерь воздуха. В то же время возможность локализации зон загазирования ШВС газообразными продуктами горения путем манипулирования аэродинамическим сопротивлением вентиляционных сооружений вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по изучению динамики их изменения.

- **реверсируемость струй** - это способность струи изменять направление своего движения за счет вентилятора главного или местного проветривания в реверсивном режиме его работы при наличии тепловой тяги. Она характеризуется максимально развиваемой депрессией на данную ветвь или участок сети вентилятором главного проветривания (критической депрессией). В аварийной ситуации возможность реверсируемости струй дополнительно определяется возникновением тепловой депрессии пожарного очага;

- **опасность образования местных скоплений метана** на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой. Характеризуется величиной коэффициента такой опасности (K_o), определяется в соответствии с [3];

- **предельная концентрация метана** на выемочном участке после закорачивания вентиляционной струи:

$$C = 100 \frac{I_{уч}}{Q_3 + I_{уч}}$$

где Q_3 - расход воздуха на участке после закорачивания вентиляционной струи;

- **расчетное время загазирования (t_3) лавы** до концентрации 2% при закорачивании вентиляционной струи:

$$t_3 = \frac{m \cdot l_{оч} (b + 20)}{Q_3 + l_{ex}}, \quad = \frac{1 - \frac{+ I_{уч}}{50 I_{уч}}}{1 - \frac{+ I_{уч}}{50 I_{уч}}}, \text{ мин}$$

где b - ширина призабойного пространства, м; m , $l_{оч}$ - мощность пласта и длина очистного забоя, м.

Вторая группа показателей, характеризующих санитарно-гигиенические условия, включает в себя следующие параметры: температура рудничного воздуха, скорость его движения по выработкам, запыленность атмосферы. Значения этих показателей регламентируются [1].

- расход воздуха в ШВС:

$$Q = \sum Q_i - Q_{\text{вд}}, Q_i = Q_i - Q_{\text{вд}}$$

где $Q_{\text{вд},i}$ - внешние приточки воздуха каждого из ВГП через устье ствола и в канале вентилятора;

Кроме того, косвенными критериями могут служить возможная максимальная нагрузка на очистной забой по газовому фактору и сравнение ее с фактической, резервы ВГП по подаче воздуха и его напору, состояние горных выработок и длины вентиляционных маршрутов, качество вентиляционных сооружений, тип схемы проветривания выемочных участков, их обособленность проветривания, а также качество рудничного воздуха и др.

Перечисленными показателями не ограничивается все многообразие параметров, характеризующих состояние ШВС при возникновении аварийной ситуации. Однако уже и такой неполный их перечень свидетельствует о сложности разработки универсального подхода к выбору оптимального аварийного вентиляционного режима и необходимости разработки оригинального расчетного метода.

В ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины совместно с Департаментом по чрезвычайным ситуациям и охране труда Министерства топлива и энергетики Украины разработан оригинальный методологический подход к многокритериальной оценке эффективности функционирования системы противоаварийной защиты угольных шахт, заключающийся в последовательном введении ограничений на оптимизируемые параметры. Один из примеров такого подхода приведен в [4]. Суть вопроса состоит в следующем. Выбор оптимальных маршрутов аварийной эвакуации людей из выработок аварийной или угрожаемой зоны заключается в определении максимально сосредоточенных групп людей (по введенному ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины определению этот показатель называется человекоемкостью горной выработки) и расчете времени их эвакуации, исходя из скорости движения их к запасным выходам и на поверхность в пешем порядке. На первом этапе оптимизации такой подход правомерен, однако в дальнейшем требует определенной доработки. Дело в том, что критерий человекоемкости выработки, представляющий собой, в соответствии с [4], математическое ожидание количества людей в выработке в течение рабочего цикла (смены), не отвечает реальным потребностям аварийной эвакуации. Большие группы людей будут эвакуированы своевременно и с минимальными эргономическими затратами; однако малые группы людей, находящиеся на значительном расстоянии от стволов, предназначенных для аварийной эвакуации, оказываются в критической ситуации. Поэтому второй этап оптимизации предполагает введение следующих ограничений. Если на первом этапе ком-

плексный критерий оптимальности маршрутов аварийной эвакуации людей имеет вид

$$\sum_{(i,j) \in \theta_3} \lambda(i,j) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где θ_3 - множество выработок шахты, входящих в состав аварийного и угрожаемых участков, $\lambda(i,j)$ - человекоемкость выработки (i,j) , то на втором этапе этот критерий приобретает вид

$$\sum_{(i,j) \in \theta} \lambda(i,j) [\exp(P \sum_{(i',j') \in \mu(i,l)} \frac{C(i',j')L(i',j')}{v(i',j')}) - 1] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где θ - множество всех выработок шахты, P - числовой параметр, характеризующий степень влияния характеристик маршрута на значение критерия в целом, $C(i',j')$ - концентрация пожарных газов в (i',j') , $L(i',j')$, $v(i',j')$ - длина (i',j') и скорость движения людей по ней соответственно; последняя определяется по нормативным данным или рассчитывается по методике [5], $\mu(i,l)$ - маршрут аварийной эвакуации людей от узла i к узлу l , находящемуся на поверхности.

Предлагаемый критерий автоматически предусматривает вывод людей из шахты, в то время как критерий (1) ограничивался лишь оценкой их количества.

Однако и критерий (2) не является окончательным. Дело в том, что требование документа [1] о расчете времени движения людей по маршрутам аварийной эвакуации исходя из движения их в пешем порядке, не соответствует истине. В состав маршрута входит, как правило, вертикальная выработка, оснащенная клетевым подъемом; скорость движения по ней, естественно, превышает регламентированную [1] скорость передвижения людей в пешем порядке. В то же время клеть, предназначенная для перевозки людей, имеет ограниченную вместимость. Поэтому в аналитическое выражение критерия оптимальности аварийной эвакуации людей должна быть внесена составляющая, учитывающая циклический характер разгрузки пунктов накопления людей, подвергающихся аварийной эвакуации.

Из всего вышесказанного может быть сделан вывод о том, что многокритериальная оценка эффективности противоаварийной защиты должна базироваться на следующих принципах. На первом этапе анализируются показатели, имеющие четкое аналитическое представление и методику расчета численного выражения. Минимальное сравнительное значение их численных значений определяет эффективность противоаварийной защиты при возникновении экзогенного пожара. Если указанный показатель, по мнению лиц, ответственных за ликвидацию аварии, является недостаточным - необходимо проанализировать соответствие системы противоаварийной защиты показателям, определение значений которых требует использования методов имитационного моделирования с применением ПЭВМ. Если же и эта оценка не даст желаемого результата

– анализу должны подвергнуться качественные критерии, аналитически не сравнимые. Для этого должны быть задействованы аппарат нечеткой логики и методы экспертных оценок; итогом такого подхода является разработка специализированной экспертной системы, предназначенной для оценки эффективности функционирования системы противоаварийной защиты угольных шахт по ряду качественных и количественных показателей, не имеющих в отдельных случаях критериев сравнительных оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах.- ДНАОП 1.1.30-1.01-00.- Киев, 2000.
2. Сборник инструкций к Правилам безопасности в угольных шахтах.- Киев: Гос. комитет Украины по надзору за охраной труда, 1996.- 207 с.
3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт/ Государственный нормативный акт об охране труда. Утвержден приказом государственного комитета Украины по надзору за охраной труда № 131 от 20.12.1993 ДНАОТ 1.1.30-6.09.93.- Киев, 1994.- 311 с.
4. Учет пропускной способности шахтных стволов при аварийной эвакуации горнорабочих/ И.Е. Кокоулин// Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук праць/ Ін-т геотехн. механіки НАН України.- Дніпропетровськ, 2003.- Вип. 41.- С. 23-30.
5. Расчет времени движения людей при выходе из аварийной зоны / Потемкин В.Я., Светличный В.В., Кокоулин И.Е.// Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: Науч.-техн. реф. сб. ЦНИЭИУ-голь.- 1977.- № 12.- с.13-14.