

Инж. И.А. Яценко
(Департамент по чрезвычайным
ситуациям и охране труда Министерства
угольной промышленности Украины)

ЭВАКУАЦИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Розроблено метод імітаційного моделювання аварійної евакуації гірників під час виникнення екзогенної пожежі, який враховує організацію пересування їх з використанням транспортних засобів циклічної дії.

EVACUATION OF PEOPLES IN THE TIME OF FIRE WITH USE OF TRANSPORT MEANS WITH CYCLICAL ACTION

The method of imitation modeling the emergency evacuation of peoples in the time of rise of the exogenic fire, which take into account the organization of their movement with use of transport means with cyclical action, was exploited.

Основной задачей системы противоаварийной защиты, и составляемого шахтой плана ликвидации аварий (ПЛА) в частности, является обеспечение безопасной эвакуации горнорабочих из выработок аварийного и угрожаемых участков в кратчайшие сроки [1]. Общепринятый на шахтах метод решения этой задачи заключается в:

- определении выработок, подходящих для осуществления аварийной эвакуации людей, и времени движения по ним с учетом геометрических (длина, площадь поперечного сечения, угол наклона), технологических (температура, обводненность, степень загроможденности технологическим оборудованием и промышленными отходами, оборудование клетевым или лестничным подъемом, наличие транспортных средств) и аварийных (возможное повышение температуры воздуха и загазирование выработок пожарными газами) характеристик;
- формировании из них маршрутов аварийной эвакуации с учетом минимизации суммарного времени их преодоления;
- проведении контрольных проверок выбранных маршрутов.

Однако практическая реализация такого метода показывает его несовершенство. Выбор маршрутов аварийной эвакуации на основе лишь инженерного опыта и интуиции составителя (главного инженера шахты) не позволяет учесть большое количество разноплановых факторов и таит возможность возникновения ошибок, связанных с недооценкой роли того или иного фактора и степени их взаимовлияния. Примеров тому много. Главный инженер сталкивается с вопросами выбора альтернативного варианта между длинной, но горизонтальной, и более короткой, но наклонной выработкой, выработкой большого сечения, по которой можно двигаться в пешем порядке, и более короткой выработкой, движение по которой может осуществляться лишь ползком, выработкой, в которой есть транспортное средство, способное отказать в аварийной ситуации, и выработкой более короткой, в которой оно отсутствует, и т.д. Поэтому, если пер-

вая задача плана аварийной эвакуации осуществляется исключительно человеком-составителем ПЛА, то решение второй задачи предполагает разработку оптимизационного метода, который, для современных глубоких метанообильных шахт со сложной топологической структурой, требует использования ПЭВМ.

Первым этапом, после определения перечня выработок, принципиально пригодных для целей аварийной эвакуации, является определение для каждой из них значения некоторой общей характеристики (можно назвать ее степенью проходимости), функционально связанную с временем движения людей по выработке и действующими в ней поражающими факторами пожара. В дальнейшем для каждого исходного пункта аварийной эвакуации определяется ее маршрут по критерию минимума суммы указанных характеристик.

Метод решения этой задачи наиболее полно рассмотрен в [2, 3]. В качестве критерия оптимальности маршрута принимается математическое ожидание количества эвакуируемых из аварийного и угрожаемых участков шахты людей с учетом эргономических характеристик маршрута. В аналитическом виде этот критерий имеет вид:

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

где $\lambda(i,j)$ представляет собой математическое ожидание количества людей в выработке (i,j) в течение рабочего цикла (смены), 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 [4], $\mu(i,l)$ – маршрут аварийной эвакуации людей от узла i к узлу l , находящемуся на поверхности.

Следует отметить, что этот критерий имеет несколько искусственный характер. Связано это с необходимостью, в ряде случаев, сравнения одинаковых в эргономическом плане выработок и выбора «лучшей» из них. Человек-составитель способен принять волевое решение, что недоступно ПЭВМ. Речь идет о параметре $C(i',j')$. Опасное значение концентрации пожарных газов в пересчете на условную окись углерода в соответствии с [1] имеет место практически в любой точке маршрута аварийной эвакуации в пределах загазированной зоны и все выработки с точки зрения опасности их преодоления равнозначны. Использование $C(i',j')$ всего лишь позволяет получить точное аналитическое решение.

Предложенный метод позволяет для каждого места сосредоточения людей в шахте построить единственный маршрут, не зависящий от количества следующих по нему людей. В этом заключено определенное противоречие. Если выработка оборудована транспортным средством, пригодным для использования при эвакуации людей в аварийной ситуации (вагонетной откаткой, грузоподъемным конвейером и т.д.), требование [1] однозначно: если даже возможно его использование, время движения людей по маршруту аварийной эвакуации рассчитывается, как при движении в пешем порядке. Уменьшение этого времени –

только положительный фактор в реализации мероприятий ПЛА, но недооценка возможности выхода из строя технического средства – угроза для принятия необходимых противоаварийных мер.

Иначе обстоит дело с преодолением вертикальных участков маршрута аварийной эвакуации. Если он представляет собой запасной выход, оборудованный лестничным отделением – просто снижается рассчитываемая в соответствии с [4, 5] скорость передвижения людей по маршруту. При этом не нарушается основной принцип эвакуации: движение людей по горизонтальным, наклонным и вертикальным, не оборудованным средствами подъема, горным выработкам производится практически непрерывно. Степень проходимости выработок маршрута определяется лишь их геометрической вместимостью.

Но элементом маршрута аварийной эвакуации является, как правило, воздухоподающий, или, при реверсировании вентиляционной струи, вентиляционный ствол. Стволы оборудованы средствами подъема, выход из строя которых практически исключен, разве что авария происходит непосредственно на указанных объектах; но в этом случае при реализации мероприятий ПЛА они не задействуются. Осуществление движения по их лестничным отделениям в пешем порядке практически исключено: эргономические характеристики преодоления такого участка маршрута в течение реального времени просто превышают возможности человеческого организма. Процесс преодоления указанного участка маршрута поэтому является дискретным, а время эвакуации определяется для него вместимостью клеток, используемых для аварийной эвакуации, и количеством людей, прибывших в околоствольные дворы. Особенно важным является учет указанного фактора при осуществлении аварийного реверсивного вентиляционного режима, когда воздухоподающие стволы шахты, оборудованные клетями вместимостью порядка 60-100 человек, оказываются загазированными и, в соответствии с ПЛА, непригодными для целей аварийной эвакуации. Вентиляционные же стволы и скиповые стволы, которые могут быть использованы для целей аварийной эвакуации, оборудованные клетями малой вместимости (предназначенными для ремонтных и других вспомогательных работ) или скипами для подъема угля, где проезд предусматривается лишь на крыше скипа, не всегда способны обеспечить эффективную аварийную эвакуацию.

Преодоление участка маршрута, оборудованного средствами эвакуации циклического действия, имеет следующие особенности:

1. В идеальном случае, когда к моменту прибытия в околоствольный двор ствола, предназначенного для аварийной эвакуации, партии эвакуируемых горнорабочих, клетки находятся на аварийном горизонте и их вместимости достаточно для регламентированной ПЛА доставки людей на поверхность, достаточно выполнения требований критерия (1). Необходимо лишь учитывать, что величина $v(i',j')$ для указанного участка должна быть принята равной паспортной скорости движения клетки в рассматриваемом стволе.

2. Если к моменту прибытия эвакуируемых к определенному ПЛА стволу клетки в наличии нет, но предполагаемое количество эвакуируемых не превышает возможностей однократного подъема на поверхность – критерий (1) также

применим. Необходимо только в расчетное время аварийной эвакуации включить время движения клетки вниз (или вверх, если возможно ее нахождение ниже аварийного горизонта) по стволу по вызову группы эвакуируемых горнорабочих.

3. Если же планируемая численность эвакуируемых горнорабочих превышает вместимость предназначенных для этой цели клеток, в ходе эвакуации возникают вынужденные перерывы, продолжительность которых зависит от времени движения клетки от места загрузки до поверхности или неугрожаемого горизонта, ее разгрузки и возвращения.

Таким образом, пропускная способность шахтных стволов, в отличие от других горных выработок, ограничена вместимостью клетки и циклическим принципом ее работы. Неучет данного фактора в методике [2, 3] способен исказить планируемую картину аварийной эвакуации и выработку неправильных рекомендаций, нарушающих требования [1]. В то же время не следует пытаться искусственно исключать из рассмотрения стволы шахт с подъемом малой производительности и использовать на маршрутах лишь стволы, производительность которых достаточна, поскольку при этом может исчезнуть ряд очевидных решений и эвакуация потеряет нужную оперативность. Кроме того, при неправильном определении маршрутов аварийной эвакуации может измениться характеристика аварийного вентиляционного режима, в аналитическое значение критерия которого (1) их длина входит.

Производительность транспортных средств циклического действия может учитываться разными путями. На наш взгляд, наиболее приемлемый состоит в выборе допустимого времени эвакуации t_d и расчете максимального количества людей, которое может быть выведено за это время через соответствующий запасной выход, т.е.

$$n_d \leq t_d / t_y \times n_y ,$$

где n_d – количество людей, которое можно перевезти за время t_d , t_y – время одного цикла работы подъемной установки, n_y – количество людей, перевозимых за один цикл.

Альтернативой такого подхода является учет зависимости времени доставки последнего человека от производительности подъема и количества людей, которых предполагается вывезти. Очевидно, что для циклических транспортных средств такая зависимость имеет ступенчатый характер. Поэтому и критерий проходимости выработки $P(n)$, оборудованной клетевым подъемом, является ступенчатой функцией количества людей. Для всех остальных выработок

$$P(n) = const.$$

Критерием эффективности эвакуации людей можно считать суммарное значение критерия для каждого человека

$$P = \sum_{i=1}^N P_i, \quad (2)$$

где P – значение критерия эффективности эвакуации людей, P_i – значение критерия для i – го человека, N – количество людей в шахте.

Если начало i – го маршрута находится в узле l^i и маршрут проходит по выработкам $K_1^i, K_2^i, \dots, K_m^i$, где m – количество выработок маршрута, то формула (2) примет вид

$$P = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^m P_k^i, \quad (3)$$

где P_k^i – значение критерия эффективности для k -ой выработки i -го маршрута.

Поскольку выработка может быть включена в маршрут только один раз, а P_k^i зависит от количества людей, эвакуируемых через выработку, то выражение (3) может быть переписано в виде

$$P = \sum_{k=1}^M n_k P_k(n_k), \quad (4)$$

где n_k – количество людей, эвакуируемых через k –ую выработку, M – количество выработок.

Для любого разветвления маршрутов справедливо соотношение

$$\sum n_{\text{вых}} = \sum n_{\text{вх}} + \sum n_{\text{о.вых}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{вх}}$, $n_{\text{вых}}$, $n_{\text{о.вых}}$ – количество людей, прошедших через входящие и выходящие из разветвление выработки, и количество людей, находящихся в выработках, выходящих из разветвления.

Очевидно также, что для узлов поверхности

$$\sum n_{\text{вх}} = N \quad (6)$$

В принятых определениях и допущениях задача состоит в том, чтобы найти n_k , минимизирующее формулу (4) при ограничениях выражений (5) и (6). Поставленная задача соответствует второму из описанных выше способов учета производительности циклических транспортных средств. Первому подходу соответствует следующая постановка: минимизировать уравнение

$$P = \sum_{k=1}^M n_k P_k \quad (7)$$

при ограничениях выражений (5) и (6), а также

$$n_k \leq n_d \quad (8)$$

Существенным отличием формулы (7) от формулы (4) является то, что в уравнении (7) предполагается $P_k = const$. Впрочем, возможен и комбинированный подход, заключающийся в минимизации формулы (4) при ограничениях выражений (5), (6) и (8).

Для решения задачи в указанных постановках оказываются непригодны известные методы [2, 3], т.к. для них предполагается постоянство критерия P . Для определения плана эвакуации людей могут быть применены методы линейного потокового программирования [6], а именно, методы решения задач о потоке минимальной стоимости. При этом в качестве стоимости выработки принимается значение $P(n)$, а в качестве потока по ней берется количество людей, которое должно быть по ней выведено. Для учета особенностей задачи аварийной эвакуации людей стандартные методы должны быть несколько модифицированы, что вызвано дискретным характером изменения $P(n)$. Для этого каждая выработка с транспортом циклического действия учитывается как множество k параллельных ветвей с фиксированной стоимостью P_k и ограничениями

$$n_y(i-1) < n < n_y(i), \quad i=1,2,\dots,k$$

Величина k выбирается из ограничения $k = t_d / t_w$

Как показывают вычислительные эксперименты, произведенная модификация обеспечивает эффективное решение задачи определения порядка эвакуации.

Следует отметить, что интуитивно предложенный метод формирования маршрутов аварийной эвакуации людей применяется на шахтах со сложной топологической структурой вентиляционной сети давно. Именно, в оперативной части ПЛА записи типа: «Люди, находящиеся в (аварийном или угрожаемом участке) следуют по маршруту..., далее к (перечень стволов, к которым направляются люди) и на поверхность». Однако предлагаемый метод позволяет учесть следующие факторы. Направление людей к нескольким стволам предполагает определенное разделение их в количественном отношении. Без проведения расчетов, связанных с пропускной способностью стволов, предназначенных для аварийной эвакуации, это невозможно. Кроме того, предлагаемый метод позволяет определить такое соотношение эвакуируемых людей по различным стволам, которое обеспечит минимизацию времени их полной аварийной эвакуации.

О правильности такого подхода как раз и свидетельствует наличие рекомендаций по комбинированной эвакуации горнорабочих во многих позициях действующих ПЛА крупных угольных шахт Украины.

Из сказанного могут быть сделаны следующие выводы:

Существующий метод эвакуации людей из шахт с высокой топологической

размерностью и большим количеством горнорабочих, а значит – и подлежащих возможной эвакуации людей, способен привести к превышению допустимой пропускной способности отдельных выработок, в особенности шахтных стволов, пропускная способность которых ограничена вместимостью клетки и циклическим принципом ее работы.

Новый подход к решению задачи аварийной эвакуации людей из шахты с учетом производительности циклических транспортных средств устраняет указанное противоречие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах / ДНАОП 1.1.30-1.01-96 // Утверждено приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 18 января 1996 г. № 7.- К.: Основа, 1996.- 207 с.
2. Светличный В.П., Кокоулин И.Е., Хижняк В.А. Обобщенный алгоритм формирования с помощью ЭВМ оптимальных путей движения людей из шахты при возникновении аварийной ситуации// Известия вузов. Горный журнал, 1979, – № 10. – С. 26-30.
3. В.Я. Потемкин, Е.А. Козлов, И.Е. Кокоулин. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках – К.: Техника, 1991.- 124 с.
4. Расчет времени движения людей при выходе из аварийной зоны/ Потемкин В.Я., Светличный В.П., Кокоулин И.Е.// Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: Науч.-техн. реф. сб. ЦНИЭИ-Уголь.- 1977.- № 12.- С. 13-14.
5. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело – М.: Недра, 1972.- 356 с.
6. Йенсен П., Барнес Б. Потокосное программирование.- М.: Радио и связь.- 1984.- 423 с.

УДК 622.4:622.82

Канд. техн. наук Т.В. Бунько
(ИГТМ НАН Украины)

ПОИСК НАРУШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕТРИВАНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Запропоновано метод пошуку у шахтній вентиляційній мережі контурів „штучної” рециркуляції повітряних потоків, пов’язаної з неправильною підготовкою вхідної інформації для вентиляційних розрахунків, яка викликає достовірне, але неправильне по суті вирішення задач повітророзподілу.

THE QUEST OF INFRINGEMENT IN THE ORGANIZATION OF COAL MINE AIRING

The method search in the mining ventilation network circuits of „artificial” recirculation of ventilation streams, which connected with the incorrect preparation of proceed information for ventilation calculations, which arouse authentic, but incorrect as a matter of fact decision tasks of air-distribution.

Проведение расчетов воздухораспределения в вентиляционной сети (ШВС) угольной шахты предполагает построение ее имитационной модели. Иными словами, предварительным этапом расчетного процесса является формирование топологической структуры, представляющей аналог ШВС, учитывающий все ее топологические, аэродинамические и технологические особенности.

Решение указанной задачи представляет определенные сложности. Важнейшей из них является достоверность подготовки исходных данных для про-