

*В.В. Слесарев, д-р. техн. наук, А.В. Миргородский,
(Украина, Днепропетровск, Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЕЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ

Введение

Разработка полезных ископаемых на больших глубинах, применение высокопроизводительных добычных комплексов приводит к осложнению вентиляции шахт и повышению вероятности аварийных ситуаций. В этих условиях основную роль в обеспечении жизнедеятельности шахтеров играют автоматизированные системы управления безопасностью. Автоматизированная система составления и ввода в действие планов ликвидации аварий (ПЛА) производит выбор мероприятий в соответствии с заданными позициями и выдаёт распечатку оперативной части в установленной форме [1, 2]. Несмотря на то, что вышеуказанная система даёт большой выигрыш времени при определении списка мероприятий по ликвидации аварий, следует отметить, что она формирует список мероприятий ПЛА только для заранее заданных позиций. Выработка соответствующих оперативных мероприятий для ликвидации последствий аварий произвольного вида в непредусмотренном месте шахты, указанной выше системой, не осуществляется. Сложность формализации процессов составления ПЛА и принятия решений при оперативной ликвидации возникших аварий в шахте заключается в необходимости отображения действий человека – оператора (руководителя аварийных работ), который должен принимать как количественные, так и качественные (на уровне лингвистических переменных) решения по заранее установленным правилам. Всё это обуславливает применение методов искусственного интеллекта для принятия решений при оперативной ликвидации непредвиденных аварий на шахтах. В состав аварийных мероприятий на шахтах входит и спасение людей подразделениями ГВГСС - эвакуация их на поверхность или безопасные зоны.

Не всегда предварительно разработанные маршруты передвижения горноспасателей в аварийных ситуациях являются оптимальными. Зачастую прогнозируемое развитие событий отвечает складывающейся аварийной обстановке на шахте. В таких случаях руководитель аварийных работ должен иметь средства для оперативного решения задач по определению эффективных маршрутов передвижения горноспасателей в системе горных выработок шахт с целью спасения людей и ликвидации последствий аварий.

Формулировка цели и задачи исследования

В работе должны решаться задачи по организации представления и хранения информации об аварийных зонах в конкретных аварийных случаях, а также данные о возможных маршрутах передвижения горноспасателей к местам сосредоточения людей.

Из наиболее полного набора альтернатив поведения горноспасателей для конкретного объекта управления (шахты в аварийной обстановке) должны в реальном масштабе времени определяться маршруты передвижения оптимальные с точки зрения минимума затраты времени и максимума вероятности его преодоления.

Изложение основного материала исследований

Важными факторами, которые влияют на процесс формирования маршрутов передвижения горноспасателей, являются зоны загазованности и температурные поля, образующиеся в системе горных выработок шахт. Все эксперименты по реализации разработанного метода идентификации приводятся в работе для модели вентиляционной системы шахты «Западно – Донбасская» объединения «Павлоград-уголь» (рис. 1).

Алгоритм определения зон загазованности при пожарах

Совместное нахождение распределение температур и дебитов воздуха в сети горных выработок на основе имитационного моделирования этих процессов позволяет определить действие основного поражающего фактора при экзогенном пожаре. Моделирование производится на сетевой модели вентиляционной системы шахты (рис.1). Упрощённый вариант образования зон загазованности указан на рис.2.

При этом важно учитывать динамику загазованности шахты, поскольку изменение вентиляционного режима происходит, как правило, после того, как часть шахтной вентиляционной системы уже подверглась загазованности [3]. В соответствии с этим в шахтной вентиляционной системе можно выделить следующие аварийные зоны:

1). Зона загазованности при нормальном режиме проветривания.

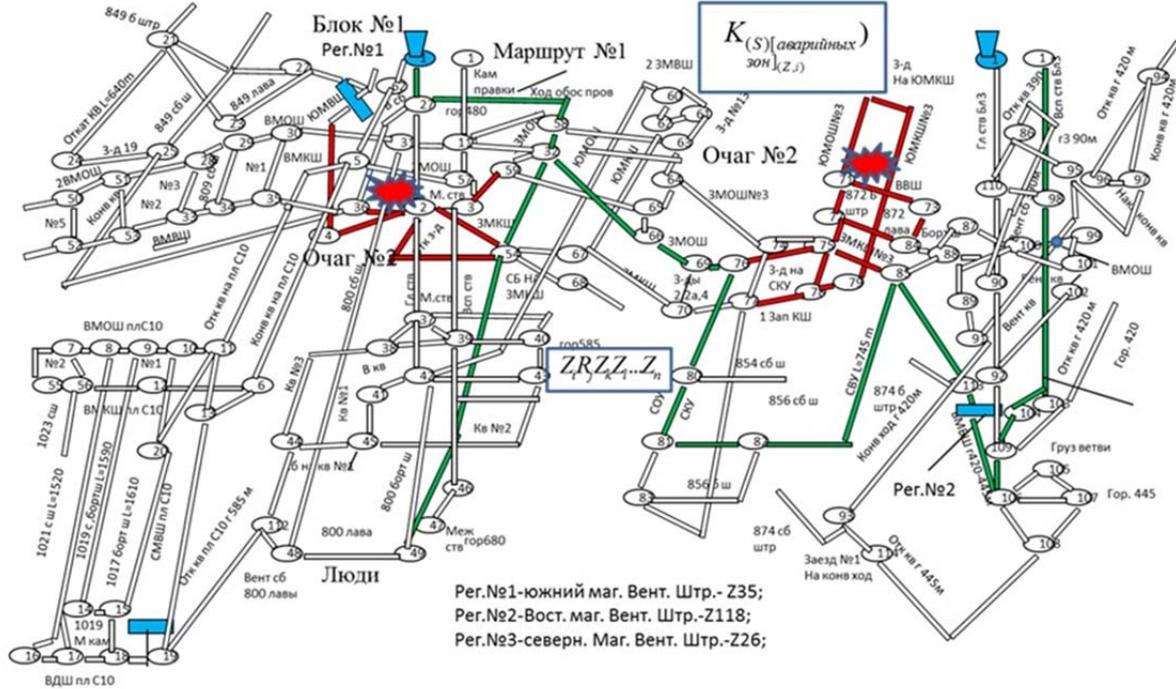


Рис. 1. Аварийные зоны и идентификация маршрутов движения подразделений ГВГСС в места сосредоточения людей

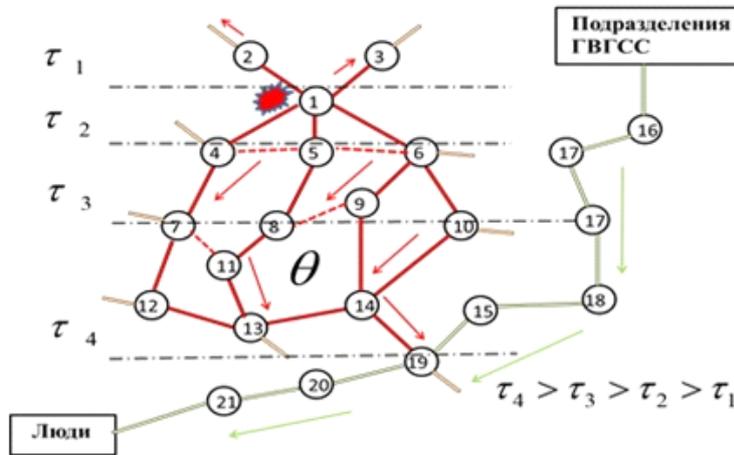


Рис. 2. Динамика образования опасных зон и маршруты движения горноспасателей

К вниманию также следует принять загазованность отдельных зон.

Образование зон загазованности при различных режимах проветривания.

θ_n - возникает сразу же после возникновения пожара. Если время пожара τ достаточно велико, то есть продукты горения достигают вентиляционного ствола, то через время $t \geq \tau$ образуется полная зона загазованности при данном режиме проветривания.

2) Зона θ_p - образуется при реверсивном режиме проветривания. Понятие «реверсивный режим» в связи с наличием на современных шахтах нескольких главных вентиляторов носит условный характер. В дальнейшем под этим подразумевается некоторая комбинация различных вентиляционных режимов.

3) Промежуточная, временно загазованная зона θ_v , возникающая после образования зоны θ_n и осуществления реверсивного режима проветривания. Она включает в себя выработки зоны θ_n первоначально заполненные продуктами пожара, а затем проветренные свежей струей воздуха. Необходимость опре-

деления параметров этой зоны определяется тем, что она значительна по размерам, динамична и не исключено построение маршрутов эвакуации людей через выработки этой зоны.

4) Чистая зона θ_r , состоящая из не загазованных выработок, как при нормальном, так и при реверсивном режиме. Существование такой зоны характерно для вентиляционных систем с несколькими вентиляторами.

Введение классификации зон загазованности шахтной атмосферы позволяет формализовать представление о шахтной атмосфере в аварийных ситуациях следующим образом:

$$\theta = \theta_p \cup \theta_n \cup \theta_a \cup \theta_c,$$

где θ - множество всех выработок; θ_c - чистая зона.

Следует отметить, что возможно существование зоны нулевого режима θ_0 , образуемой пожаром при остановке всех вентиляторов под действием естественной тяги. Практика показывает, что остановка всех вентиляторов при пожаре нецелесообразна, остановка же части вентиляторов рассматривается как один из вариантов реверсивного режима.

Решение задачи выбора оптимального, аварийного режима требует рассмотрения частных случаев описанных выше зон на конечном отрезке времени τ с учётом их динамики и взаимодействия.

Расчёт концентраций и выделение этих зон с помощью ЭВМ является частным случаем общей задачи «принятия решений при ликвидации аварий».

Моделирование производилось для сети шахты (рис.1). Позиция ПЛА №44 (Пожар). На рис.3 изображён фрагмент таблицы с нечёткими данными о распространении угарного газа по вентиляционной системе шахты.

В разработанной программе имеется возможность просмотреть рассчитанную реляционную таблицу и сохранить ее в *.csv файл.

Время (мин)	Концентрация	188	187	191	159
1	Небольшая	0,044444444444...			
1	Большая				
1	Очень большая				
5	Небольшая				
5	Большая	0,111111111111...			
5	Очень большая				
10	Небольшая		0,255074786156...		
10	Большая				
10	Очень большая	1			
15	Небольшая			0,442505907110...	
15	Большая				
15	Очень большая	1	0,295673075407...		
20	Небольшая				
20	Большая				
20	Очень большая	1	1	0,609881778672...	
25	Небольшая				0,3251063807
25	Большая				
25	Очень большая	1	1	1	

Рис. 3. Распространения пожарных газов по вентиляционной системе шахты

Программа построения маршрутов движения отделений ГВГСС

Программа построения маршрутов движения отделений ГВГСС должна на основе имеющихся в базе данных существующих маршрутов предложить альтернативный (более оптимальный) путь для каждого маршрута.

Для достижения этого предварительно проводится расчет распространения температурного поля для указанного времени (в минутах), поскольку невозможно предложить оптимальный маршрут, не зная развития ситуации во время пожара. Оптимальность маршрута по отношению к существующему определяется несколькими параметрами.

1. Маршрут позволяет из начальной выработки достичь конечной выработки.
2. Маршрут не должен проходить через зону высоких температур ($>60\text{ C}^0$) ни на одном из участков пути (при этом допускается прохождение маршрута через зоны повышенной температуры ($45-60\text{ C}^0$), о чем программа сообщит в конце расчета).

3. Маршрут требует меньших временных затрат, чем существующий в базе (то есть суммарное время прохождения каждой выработки оптимального маршрута меньше, чем существующего). Если хотя бы один из пунктов не выполняется – маршрут считается неоптимальным и удаляется из списка.

Время прохождения выработки рассчитывается исходя из следующих параметров:

1. Длина выработки.

2. Угол наклона выработки по отношению к горизонту.

3. Температура в выработке. Для случая, когда температура в выработке нормальная расчетная формула имеет вид $(20-45\text{ }^{\circ}\text{C}^0) t = L / (10 + 70 \cdot \cos(\alpha)) / 60, \text{ м/с}$. В случае, когда температура в выработке повышенная $(45-60\text{ }^{\circ}\text{C}^0)$, $t = 2L / (10 + 70 \cdot \cos(\alpha)) / 60, \text{ м/с}$ где t – время прохождения горной выработки, \tilde{t} ; L – длина выработки, \tilde{l} ; α – угол наклона выработки, градусов. Данная формула достаточно корректно отражает реальную скорость движения человека. Возьмем для примера $L=1000$ метров. Если угол наклона = 90° , то скорость движения получаем 10 м/мин, что соответствует средней скорости подъема человека по вертикальной лестнице. При $\alpha = 0^{\circ}$ скорость движения равна 80 м/мин, что соответствует 4,8 км/ч – средняя скорость движения человека.

Порядок логического преобразования лингвистической информации при оперативной корректировке маршрутов эвакуации людей из шахты.

Шаг 1. При установлении соответствия реальной оперативной обстановки аварийной ситуации, полученной в результате моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты (структурная идентификация) используется следующее выражение:

$$Sim_{is-a}(k_{[AZ]_{(VP)(t)}}, k_{[PP]_{(t)}}) = \frac{|K_{[AZ]_{(VP)(t)}} \cap K_{[AZ]_{(PP)(t)}}|}{|K_{[AZ]_{(VP)(t)}} \cup K_{[AZ]_{(PP)(t)}}|}, \quad (1)$$

где $K_{[AZ]_{(VP)(t)}}$ и $K_{[AZ]_{(PP)(t)}}$ – соответственно, текстовые структуры аварийных зон предполагаемых в позициях ПЛА и, образовавшиеся в результате пожара.

Шаг 2. Затем необходимо определить отличаются ли организационные мероприятия (маршруты движения горноспасателей) в ПЛА (6 классов $K_{(i,j,m,k,l,s)}$), с возможностями образовавшимися в связи со сложившейся аварийной обстановкой после разведки шахты подразделениями ГВГСС (6 классов $KP_{(i,j,m,k,l,s)}$).

Если эти мероприятия обладают достаточной мерой сходства, то дополнительных расчетов путей эвакуации не производится. Если же имеется существенное отличие, то эти мероприятия определяются путём проведения специальных операций с текстовыми структурами организационных мероприятий – маршрутов эвакуации людей в позициях ПЛА.

Шаг 3. С текстовыми структурами $K_{(S)[MD]_{(L)}}$ и $KP_{(S)[MD]_{(L)}}$ проводится операция разности

$$K_{(S)[MD]_{(L)}} - KP_{(S)[MD]_{(L)}} = K_{(S)[MD]_{(L)}} \cap \overline{KP_{(S)[MD]_{(L)}}}, \quad (2)$$

где $K_{(S)[MD]_{(L)}}$ – класс маршрутов эвакуации людей суперкласса возможных прецедентов – позиций ПЛА, установленный путём моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты; $KP_{(S)[MD]_{(L)}}$ – класс маршрутов эвакуации людей суперкласса (позиций ПЛА), реализуемых после ввода в

действие ПЛА. Функция принадлежности для параметров, сравниваемых классов – $a_{(i)}$ определяется по формуле:

$$\mu_{K_{(i)} - KP_{(i)}}(a_{(i)}) = \mu_{K_{(i)} \cap \overline{KP_{(i)}}}(a_{(i)}) = \min(\mu_{K_{(i)}}(a_{(i)}), 1 - \mu_{KP_{(i)}}(a_{(i)})). \quad (3)$$

Маршруты эвакуации людей определяются путём проведения операций объединения и пересечения:

$$M_0 = \min \left[\underset{\mu_{(j,i)} \cup \mu_{(z,i)}}{\text{Max}} \underset{\mu_{(j,i)} \cap \mu_{(z,i)}}{\text{Min}} (K_{(S)[MMDG]_{(j,i)}}, K_{(S)[AZ]_{(z,i)}}) \right], \quad (4)$$

где $K_{(S)[MMDG]_{(j,i)}}$ - множество маршрутов движения горноспасателей; $K_{(I,i)}$ - класс I - движения горноспасателей, состоящих из i - горных выработок; $K_{(Z,i)}$ - класс Z - зон загазованностей и температурных полей в вентиляционной системе шахты; $\mu_{(I,i)}, \mu_{(Z,i)}$ -соответственно, вероятность нахождения людей в i - ой выработке I - го маршрута и принадлежность значения «концентрации» вредных газов или «температуры» установленным интервалам шкал в i - ой выработке Z - ой аварийной зоны в фиксированный момент времени.

Таким образом, получаем, что оптимальный маршрут – не всегда кратчайший, а тот, который можно преодолеть за меньшее время.

Так же на эффективность маршрута влияет время прибытия отделений ГВГСС. Программа позволяет изменять все эти параметры.

Алгоритм поиска маршрута опирается на направление движения воздуха. Отделения ГВГСС обычно движутся по направлению движения воздуха в шахте. Это гарантирует то, что они не встретят струю горячих (больше 60°C) продуктов горения. Так же это позволяет подойти к источнику пожара максимально близко. Алгоритм проверяет все возможные пути движения из начальной точки маршрута в конечную точку. Если таковых маршрутов нет, проверяется возможность движения против движения воздуха. В этом случае алгоритм учитывает время прохождения каждой выработки и проверяет, будет ли в этой выработке высокая температура во время нахождения там отделений ГВГСС.

В результате проведения операций (1,2,3,4) будут определены маршруты движения горноспасателей по горным выработкам с учётом сложившейся оперативной обстановки, которые необходимо реализовать в каждом конкретном случае – пожаре на шахте.

Результаты расчета маршрутов отображаются на главном окне программы. Главное окно программы (рис.4) позволяет выбирать введенный пожар и просматривать соответственные введенные и рассчитанные оптимальные маршруты. Можно изменить интервал (шаг) изменения времени и задать конечный момент времени, до которого будут произведены расчеты. А также можно реверсировать направления потоков, воздуха в шахте отметив «Реверсирование». Для визуализации зоны загазованности можно сохранить расчеты в *.csv файл. Для добавления пожаров и маршрутов (позиций ПЛА) необходимо нажать кнопку «Доб.Изм. пожар». В этом окне можно просмотреть реляционную таблицу и при необходимости сохранить. Маршруты рассчитываются автоматически после окончания расчета температурного поля. Однако, можно пересчитать маршруты нажатием на кнопку «Рассчитать маршруты». Это позволяет изменить возможное время прибытия отделений ГВГСС в точку назначения и пересчитать маршруты.

В данном случае были выбраны следующие параметры:

- 1) Расчет развития температурного поля в течение 5 часов (300 минут)
- 2) Начальная температура в выработках 30°C
- 3) Отделения ГВГСС прибывают через 30 минут после начала пожара.

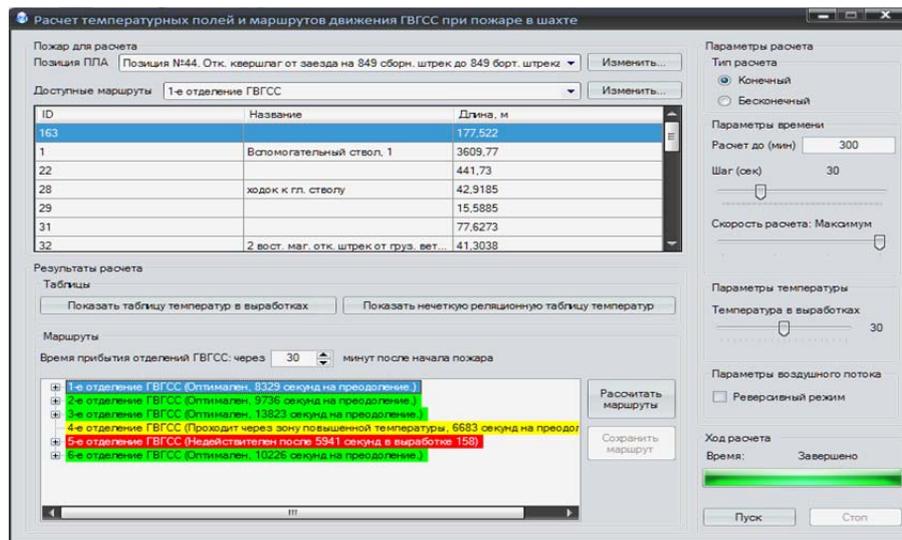


Рис. 4. Главное окно программы

Из рис. 4 видно, что при таких параметрах 5-е отделение не сможет пройти по своему маршруту, остальные смогут, однако программа смогла определить для них более оптимальные пути. Маршруты можно просмотреть. Для этого нужно раскрыть ветвь сети, содержащую маршрут. Оптимальные маршруты можно сохранить в базе данных. Для этого нужно выбрать маршрут из списка и нажать кнопку «Сохранить маршрут». Программа сообщит о результате сохранения

Исключительные ситуации, которые возможны в процессе расчета маршрутов

Возможна ситуация, когда время на преодоление маршрута больше, чем время, для которого рассчитано развитие температурного поля. В таком случае маршрут считается неоптимальным.

Также необходимо предусмотреть ситуацию, когда альтернативы передвижения не имеет оптимальных маршрутов. В таком случае он считается лучшим из возможных, если выполняются пункты 1 и 2 условий оптимальности. Отсюда видно, что в выработке 125 через 5 часов (18000 секунд) будет высокая температура, тогда как в других – нормальная. Для человека такое представление данных удобнее, чем столбцы с непосредственными значениями температур. Реляционная таблица с нечёткими данными является составляющей базы знаний интеллектуальной системы управления процессами ликвидации пожаров на шахтах. Таблицу можно сохранить в файл в формате .csv (табличный формат). Такой файл затем можно открыть во многих табличных процессорах (включая наиболее распространенный *Microsoft Excel*).

Исключительные ситуации, которые возможны в процессе расчета маршрутов:

Возможна ситуация, когда время на преодоление маршрута больше, чем время, для которого рассчитано развитие температурного поля. В таком случае маршрут считается неоптимальным.

Также необходимо предусмотреть ситуацию, когда маршрут не имеет оптимальных вариантов. В таком случае он считается лучшим, если выполняются пункты 1 и 2 условий оптимальности.

Выводы

В статье решены вопросы образования таблиц нечёткой информации базы данных о зонах загазованности и температурных полях для сетевой модели вентиляционной системы шахты в случаях возникновения аварийных ситуаций. Разработаны принципы организации базы данных о возможных маршрутах движения подразделений горноспасателей (альтернатив поведения) путём моделирования аварийных процессов на модели вентиляционной системы и опыта эксплуатации данного объекта управления, а также решена задача определения оптимальных маршрутов движения этих формирований в реальном масштабе времени с учётом сложившейся оперативной обстановки.

Список литературы

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. Издание второе, переработанное и дополненное. М.: «Недра», 1977, 223 С.
2. Устав ВГСЧ по организации и ведению горноспасательных работ. М., «Недра», 1971, 196 С.
3. Потёмкин В.Я., Коваленко А.Н., Кимельман Э.А. Принятие решений при управлении воздухораспределением в подземных выработках шахт // Изв. Вузов. Горный журнал. – 1987. - №6, С. 114 – 118.
4. Слесарев В.В. Логико-лингвистическое моделирование аварийных процессов в вентиляционных системах шахт / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Моделирование и компьютерная графика: материалы Второй межд. науч.-техн. конф., Дон НГУ. – 2007. – С. 253-258.
5. Круглов В.В., Дли Н.И., Голунов Р.Ю. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Наука, Физматгиз, 2000. – 225с.
6. Алексеев А.М. Автоматизированная экспертная система управления безопасностью на шахтах / А.М. Алексеев // Проблемы использования информационных технологий в сфере образования, науки и промышленности: Сб. научн. тр. X межд. конф., 30-31 січня 2013 р., ДВНЗ «НГУ». – 2013. – С. 24-25.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Самусею В.І.