

УДК 004

**АЛГОРИТМ ПОИСКА БЕЗОПАСНЫХ МАРШРУТОВ ВЫВОДА ЛЮДЕЙ ИЗ
ШАХТЫ ВО ВРЕМЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ****Черненко В.А., Фонов А.М.**Донецкий Национальный Технический Университет
кафедра автоматизированных систем управленияE-mail: chernenko.valer@yandex.ru**Аннотация**

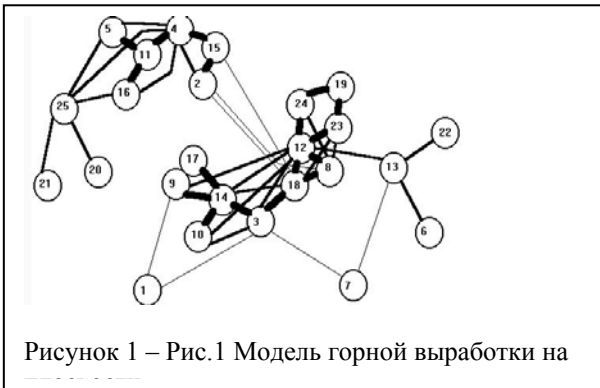
Черненко В.А. Алгоритм поиска безопасных маршрутов вывода людей из шахты во время аварийных ситуаций. *Описано представление модели горных выработок в виде графа. Выбран алгоритм Дейкстры для поиска оптимального пути на модели горной выработки. Рассмотрены аварийные ситуации на шахтах, а так же определены параметры и критерии использующиеся при моделировании развития аварийных ситуаций.*

Горная промышленность Украины переживает процесс реструктуризации. Применение компьютерных систем и разработка программного обеспечения дает возможность качественно нового решения сложных проблем горного производства и оформления документации всех технических служб горных предприятий. Горным делом человечество занимается много тысячелетий. Одним из первых опасных факторов, с которым столкнулись горняки, стала рудничная атмосфера. Несмотря на принятые меры безопасности, аварии на горном предприятии неизбежны. Главной задачей охраны труда на шахтах при возникновении аварийной ситуации является обеспечение безопасного выхода людей на свежую струю и на поверхность как можно быстрее. Эта проблема довольно актуальна в угольной промышленности. Поэтому была поставлена задача выбора оптимального пути вывода людей из шахты на основе модели горных выработок и модели развития аварийной ситуации.

Представление горных выработок. Горные выработки можно представить используя ориентированный граф. Горные работы ведутся по определенной системе и планированию, используя планограмму развития горных работ. Эта планограмма отображается на планах горных работ по каждому пласту, на котором ведутся работы. Развитие горных работ осуществляется за определенный интервал времени (t) и в определенном месте полезного ископаемого, т.е., осуществляется во времени и в пространстве. Данная информация отображается на маркшейдерских планах горных работ в виде продвижения каждой выработки за определенное время.

Модель горной выработки на плоскости представляет собой граф (сеть маршрутов, рис.1). Путь в графе - это последовательность вершин (без повторений), в которой любые две соседние вершины смежны, причем каждая вершина является одновременно концом одной дуги и началом следующей дуги. Взвешенный граф - это граф, некоторым элементам которого (вершинам, ребрам или дугам) сопоставлены числа. Числа-пометки носят различные названия: вес, длина, стоимость. Длина пути во взвешенном (связном) графе - это сумма длин (весов) тех ребер, из которых состоит путь. Расстояние между вершинами - это длина кратчайшего пути.

Необходимо определить наиболее оптимальный алгоритм поиска пути в графе, который отражает модель горной выработки, с учетом динамики развития аварийной ситуации.



Анализ алгоритмов, применяемых в настоящее время для поиска кратчайших путей между вершинами графа, позволил выявить алгоритмы Уоршолла, Дейкстры, Форда. Все алгоритмы характеризуются разными вычислительными затратами и позволяют решать поставленную задачу, но наиболее эффективным считается алгоритм Дейкстры [9].

Алгоритм Дейкстры. Алгоритм использует три массива из N ($=$ числу вершин сети) чисел каждый. Первый массив S содержит метки с двумя значениями: 0 (вершина еще не рассмотрена) и 1 (вершина уже рассмотрена); второй массив B содержит расстояния - текущие кратчайшие расстояния от до соответствующей вершины; третий массив с содержит номера вершин - k -й элемент $C[k]$ есть номер предпоследней вершины на текущем кратчайшем пути из V_i в V_k . Матрица расстояний $A[i,k]$ задает длины дуге $A[i,k]$; если такой дуги нет, то $A[i,k]$ присваивается большое число B , равное "машинной бесконечности". [10]

1) (инициализация). В цикле от 1 до N заполнить нулями массив S ; заполнить числом i массив C ; перенести i -ю строку матрицы A в массив B , $S[i]=1$; $C[i]=0$ (i - номер стартовой вершины)

2) (общий шаг). Найти минимум среди неотмеченных (т. е. тех k , для которых $S[k]=0$); пусть минимум достигается на индексе j , т. е. $B[j] \leq B[k]$ Затем выполняются следующие операции:

$S[j]=1$;

если $B[k] > B[j] + A[j, k]$, то ($B[k]=B[j]+A[j, k]$; $C[k]=j$)

Условие означает, что путь $V_i \dots V_k$ длиннее, чем путь $V_i \dots V_j V_k$. Если все $S[k]$ отмечены, то длина пути от V_i до V_k равна $B[k]$.

3) (выдача ответа). Путь от V_i до V_k выдается в обратном порядке следующей процедурой:

3.1. $z:=C[k]$;

3.2. Выдать z ;

3.3. $z:=C[z]$. Если $z = 0$, то конец,

иначе перейти к 3.2.

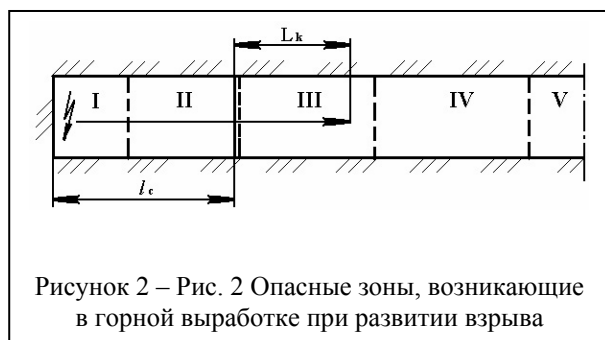
Для выполнения алгоритма нужно N раз просмотреть массив B из N элементов, т. е. алгоритм Дейкстры имеет квадратичную сложность. Данный алгоритм работает во взвешенных средах, а так же обновляет узлы при нахождении лучшего пути к ним.

Существуют алгоритмы более эффективные, чем процедура многократного повторения алгоритма Дейкстры. Эти алгоритмы принадлежат Флойду и Данцигу. Для задачи поиска оптимального пути в шахте они несколько уступают алгоритму Дейкстры так как имеют кубическую сложность; используются, если вес дуг имеют отрицательные значения; скорость выполнения ниже, чем в алгоритме Дейкстры.

Особенности развития воспламенения в горных выработках.

При определении безопасных участков главным является правильное разделение сети горных выработок на аварийные зоны.

С определенными упрощениями горную выработку, по которой распространяется взрыв газа или пыли, возникший от слабого источника воспламенения, можно условно разделить, в зависимости от проявляемых при этом опасных факторов, на следующие зоны (рис.2). Эти зоны необходимо учитывать при поиске безопасного маршрута.



I – зона воспламенения;
 II – зона взрывного горения;
 III – зона выброса пламени;
 IV – зона распространения воздушной ударной волны;
 V – зона распространения продуктов взрыва;
 l_c – протяженность призабойного участка выработки, заполненного взрывчатой смесью

В идеальном варианте к аварийному участку следует относить выработку, часть выработки или несколько сопряженных выработок проветриваемых неразветвленной струей. В этом случае для аварии в любом месте аварийного участка можно однозначно определить пути выхода людей, маршруты движения отделений ГВГСС и др.[1]

Классификация аварийных ситуаций:

- взрывы метана и угольной пыли,
- пожары,
- внезапные выбросы и суффлярные выделения метана.

Для моделирования процесса развития аварийной ситуации рассмотрим определяющие ее параметры и критерии. В качестве критерия воспламеняющей агрессивности взрыва принята тепловая мощность взрыва (Q_t), т.е. количество теплоты взрыва, выделяемой в единицу времени.

$$Q_t = Q/t_c = (V_c * q * U_c) / l_c = S * q * U_c, \text{ Дж/с}, \quad (1)$$

где Q — теплота взрыва, Дж;

V_c — объем воспламенившейся смеси, м^3 ;

U_c — скорость развития пламени взрыва, м/с;

l_c — длина тупикового участка выработки с воспламенившейся смесью;

S — площадь поперечного сечения выработки, м^2 ;

q — удельная теплота взрыва (для стехиометрической метановоздушной смеси $q = 3,381 * 10^6 \text{ Дж/м}^3$, для пылевоздушной смеси с концентрацией пыли равной 300 г/м^3 $q = 9,83 * 10^6 \text{ Дж/м}^3$);

t_c - время развития очага воспламенения (взрыва) до встречи с пламегасящей средой,

с.

В качестве комплексного критерия пламегасящей эффективности буферной среды была принята энергоносность буферной среды (J_q), определяющая величину тепловой мощности, которая расходуется при прохождении тепловым потоком единичной площадки буферной среды.

$$J_q = \lambda_{bc}^{3/2} * \rho_{bc}, \text{ Дж/с*м}^2, \quad (2)$$

где λ_{bc} — удельное теплопоглощение буферной среды, Дж/кг;

ρ_{bc} — начальная плотность буферной среды, кг/м^3 . [1]

Описание маршрутов выхода людей из выработок. При определении безопасных позиций в соответствии с указаниями «Инструкции по составлению планов ликвидации аварий»[3] основополагающим является правильный выбор аварийного вентиляционного режима проветривания шахты и аварийного участка. Практикой ведения горноспасательных работ установлено, что успех спасения горняков, которые находились в шахте во время аварии, эффективность действия спасателей по ее ликвидации и, наконец, размер материального ущерба во многом зависит от правильного выбора и своевременного применения аварийного вентиляционного режима. [7]

Все подземные сооружения оборудованы системой искусственной вентиляции, которая обеспечивает движение воздуха в нормальных и аварийных условиях (в железнодорожных туннелях искусственная вентиляция может использоваться только в случае аварии). Вентиляционная система подземного сооружения представляет из себя совокупность вентиляторов, горных выработок (туннелей), соединений выработок, вентиляционного оборудования и сооружений для регулирования распределения воздуха между выработками (тоннелями). Наиболее простыми являются системы вентиляции железнодорожных и автомобильных туннелей. В общем случае эти системы (или ее отдельные части) состоят из одного или нескольких параллельных (2–3) транспортных туннелей и вертикальных горных выработок (стволы, шурфы), оборудованных вентиляторами. В горной местности отработанный воздух удаляется из туннелей на поверхность земли по вертикальным выработкам. Из подводных туннелей вентиляторы удаляют воздух по специальным вентиляционным каналам, расположенным параллельно туннелям.[4]

При описании маршрутов выхода людей из выработок, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, необходимо руководствоваться следующим: выработки (выработку, часть выработки) аварийного участка условно разделяют на две зоны: наиболее опасную – за очагом аварии, и менее опасную – до очага аварии. К зоне за очагом аварии относят выработки аварийного участка, которые при нормальном (на момент аварии) режиме проветривания участка могут быть загазированы (выбросы, взрывы, пожары) или затоплены (прорывы воды). К зоне до очага аварии относят: при пожарах, взрывах и выбросах выработки аварийного участка, расположенные относительно места (очага) аварии со стороны свежей струи, а при прорывах воды - расположенные выше возможного прорыва воды. При этом возможность возникновения пожара или взрыва следует предусматривать в любом месте выработок аварийного участка, внезапного выброса в любом месте по длине очистного забоя, прорыва воды – в любом месте выработок аварийного участка, где реально может быть прорыв воды. [2]



На Рис.3 изображен маршрут вывода горнорабочих во время аварийной ситуации. Выбран безопасный маршрут для людей с учетом зон очага аварии, а так же загазированных участков, которые являются опасными для горнорабочих.

Общепринятый на шахтах метод решения задачи обеспечения безопасной эвакуации горнорабочих из выработок аварийного и угрожаемых участков в кратчайшие сроки заключается в:

- определении выработок, пригодных 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) 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.[6]

Выводы.

На основании изложенного может быть сделан вывод о том, что при поиске безопасных маршрутов вывода людей из шахты при аварийной ситуации возникает проблема неопределенности исходной, промежуточной и выходной информации решения задач вентиляции, дегазации и тактических мероприятий ПЛА. Для поиска оптимального пути выбран алгоритм Дейкстры, а так же рассмотрены определяющие параметры и критерии модели развития аварийных ситуаций.

При поиске оптимальных путей вывода рабочих необходимо учитывать пригодность выработок 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) и аварийных (возможное повышение температуры воздуха и загазирование выработок пожарными газами) характеристик.

Необходима разработка дополнительных методологических подходов, соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения решения указанных задач с целью поставки его на шахты и совершенствования решения задач с учетом определяющего временного фактора (а не некоторого усредненного значения предполагаемых параметров возникновения и протекания аварийной ситуации независимо от времени).

Список литературы

1. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - Донецк : ДонНТУ, 2002. 280 с.
2. Кокоулин И.Е. Неопределенность в системах противоаварийной защиты угольных шахт / И.Е. Кокоулин, Т.В. Бунько // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук праць / Дніпропетровськ, 2006.- Вип.. 64.- с. 21-30.
3. Правила безопасности в угольных шахтах / ДНАОП 1.1.30-1.01-00 // Утверждено приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 22.08.2000 г. № 215.- К.: Основа, 2000.- 207 с.
4. Потемкин В.Я. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках / В.Я. Потемкин, Е.А. Козлов, И.Е. Кокоулин. - Киев: Техника, 1991. - 125 с.
5. Смоланов С.М. Основи гірничорятувальної справи (навчальний посібник для студентів гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів) / С.М. Смоланов, В.І.Голінько, Б.А.Грядущий.-Дніпропетровськ, видавництво НГУ.- 2002.- 267 с.
6. Светличный В.П. Обобщенный алгоритм формирования с помощью ЭВМ оптимальных путей движения людей из шахты при возникновении аварийной ситуации / В.П. Светличный, И.Е. Кокоулин, В.А. Хижняк // Известия ВУЗ. Горный журнал. - 1979. - № 10. - С. 26 – 30.
7. Принципы выбора вентиляционного режима при условии возможного осложнения протекания экзогенного пожара взрывом метана/ И.А. Ященко// Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук праць/ Дніпропетровськ, 2005.- Вип.. 59.- с. 183-188.
8. 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
9. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах.– М.:Мир, 1981.– 324 с.