

**УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ  
СОСТАВЛЕНИИ ПЛАНОВ ЛИКВИДАЦИИ  
АВАРИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Визначено, що існуючі методи складання оперативної частини ПЛА орієнтовані на аналітичний підхід до вироблення мір по ліквідації аварій, ускладнені неможливістю, на етапі використання „великих” ЕОМ, організації діалогу „користувач - ЕОМ”, і тому необхідно розробити додаткові методи врахування невизначеності інформації під час розробки ПЛА та спрощення критеріїв вибору аварійного вентиляційного режиму з урахуванням підвищення можливостей його оптимізації на сучасних ПЕОМ. Зроблено висновки щодо можливості та оцінки хиб методів імітаційного моделювання аварійної ситуації (екзогенної пожежі) з метою вироблення мір по складанню та використанню ПЛА.

**CALCULATION INDEFINITY OF INFORMATION IN THE TIME OF  
WORKING OUT PLAN LIQUIDATION OF ACCIDENTS OF COAL MINES**

Marked, that existing method of working out of operation part of PLA oriented to the analytical method of approach to the elaboration of measures for liquidation of accidents, which complicated of impossibility, at the stage of use of “large” ECM, organization of dialogue “technologist-ECM”, and that’s why is need to device a complementary methods of calculation indefinity of information in the time of working out of PLA and simplification criterions alternative of repair ventilation regime with the calculation of possibilities of it’s optimization on the contemporary personal ECM. Drawed a conclusions about possibility and estimation mistakes of methods of imitated modelling of repair situation (exogen fire) with the purpose elaboration of measures for the working out and use of PLA.

Одной из основных проблем решения задач выбора и реализации противоаварийных мероприятий при возникновении аварийных ситуаций на шахтах является, как уже отмечалось в [1], оценка степени неопределенности исходной, промежуточной и выходной информации, используемой при решении указанных задач.

Причин возникновения неопределенностей указанного типа много. Если при решении задач механики, гидравлики, аэрогазодинамики, геологии предполагается, что информация для решения задач реальна и поставляется технологу в полном объеме, методы ее обработки известны и следует лишь эффективно их применить, то в задачах анализа и принятия решений при возникновении аварийных ситуаций на угольных шахтах дело обстоит иначе. Известно, что шахта является объектом, включающим ряд технологических элементов с заранее неизвестными (а зачастую – и непредсказуемыми) свойствами и значениями определяющих, в частности аэродинамических, параметров. Уже на стадии выработки проектных решений технолог сталкивается с тем, что будущая работа горного предприятия будет основываться (подчеркиваем, с точки зрения безопасности ведения горных работ) на точном выполнении требований [2], результатов геологических данных о состоянии угленосного массива и основных требованиях к вскрытию, подготовке и обработке шахтного поля.

Разумеется, этих сведений для решения задач обеспечения безопасности ведения горных работ на реально действующем объекте недостаточно. В ходе отработки угольного месторождения может возникать множество вопросов, связанных с отклонением параметров реализуемого технологического процесса от их проектных значений, осложнением ведения горных работ влиянием неучтенных при проектировании факторов, а также человеческим фактором, учет которого представляет собой скорее психологическую, чем оптимизационную, задачу, и, как правило, не подлежит формализации и аналитическому учету.

Поэтому в [1] нами была поставлена задача рассмотрения системы противоаварийной защиты угольных шахт (СПАЗ) на всех этапах ее создания и функционирования – от выработки проектных решений до анализа степени участия в ликвидации возникших аварий, с целью повышения ее эффективности. Отметим, что рассмотрение указанных вопросов ориентировано на наиболее изученный, и в то же время наиболее опасный, вид шахтных аварий – экзогенные пожары.

Вопросы проектирования СПАЗ представляют предмет отдельного рассмотрения. Они, как отмечалось уже нами в [1], разработаны недостаточно, и, несмотря на учет основных требований [2], не всегда могут считаться эффективной основой для принятия первоочередных мер. Поэтому, принимая в качестве первоначального допущения, что СПАЗ на шахте существует, необходимо оценить возможность составления и реализации плана ликвидации (ПЛА) с учетом ее существующих технологических ограничений.

Этот этап связан с необходимостью использования неопределенной информации, поскольку составляется ПЛА заблаговременно (один раз в полугодие), и, естественно, не может учесть в полной мере динамику горных работ и связанного с ней изменения условий возникновения аварийных ситуаций.

Вопросами автоматизации выбора мероприятий и составления ПЛА занимались в период 1975-1995 г.г. коллективы ряда институтов Академий наук СССР, РФ и Украины, отраслевых институтов соответствующих Министерств угольной промышленности, штабов ГВГСС и горных предприятий угольной отрасли. Анализ их работы занял бы достаточно много места; заинтересованные специалисты могут обратиться к литературным источникам [3-5], где такой обзор в основном приведен. К сожалению, интерес к решению указанных вопросов в последние годы снизился; объясняется это, повидимому, тем, что возросшие возможности проведения расчетов в условиях повышения быстродействия современных ПЭВМ позволили ряду исследователей сделать заключение о том, что перебор всего множества заданных вариантов позволит исключить необходимость разработки и реализации специальных методов целенаправленного поиска оптимального решения.

Задачей системы противоаварийной защиты, и составляемого шахтой ПЛА в частности, является обеспечение безопасной эвакуации горнорабочих из выработок аварийного и угрожаемых участков в кратчайшие сроки [2]. Общепринятый на шахтах метод решения этой задачи заключается в:

- определении выработок, пригодных для осуществления аварийной эвакуа-

ции 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.

Задача в такой постановке была решена [3]. Однако решение ее было получено более 20 лет назад, и имело следующие недостатки.

1. Задача решалась, на первом этапе, для неглубоких (что позволило пренебречь температурой в горных выработках в нормальных условиях эксплуатации) и негазовых шахт (исключая тем самым учет газового фактора при управлении воздухораспределением в аварийных и угрожаемых участках шахты).

2. Основные результаты были получены для неугольных шахт, обладающих хотя и значительно большей топологической размерностью вентиляционной сети, но отличающихся от угольных шахт системой отработки полезного ископаемого и, соответственно, другими подходами к организации спасательных и аварийно-восстановительных работ.

3. Решение задач ПЛА решалось на основе незыблемых, на тот момент времени, постулатов:

- высокая размерность вентиляционной системы (ШВС) и разнообразие подлежащих решению задач предопределяет использование ЭВМ (в тот период, когда отсутствовали ПЭВМ, «больших», типа ЕС);

- существующие ЭВМ не имеют достаточных ресурсов для решения задач ПЛА. В частности, отсутствие (а в дальнейшем – недостаточность) возможности вмешательства пользователя в расчетный процесс предопределяют необходимость создания искусственных методов исключения неопределенности при проведении расчетных операций и максимального снижения необходимости такого вмешательства.

Так возникла концепция аналитического описания протекающих в аварийном участке ШВС процессов и принятия соответствующих противоаварийных мер.

Однако практическая реализация такого метода показала его несовершенство. Выбор маршрутов аварийной эвакуации на основе лишь инженерного опыта и интуиции составителя (главного инженера шахты) не позволяет [1] учесть большое количество разноплановых факторов и таит возможность возникновения ошибок, связанных с недооценкой роли того или иного фактора и степени их взаимовлияния. 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. Исключение этих вопросов из решения общей оптимизационной задачи оперативной части ПЛА снижает эффективность использования ЭВМ при выборе вентиляционных мероприятий ПЛА. В то же время альтернативные решения могут приниматься ЭВМ лишь на основе сравнения по некоторому аналитическому критерию оптимизации значений ряда параметров протекания аварийной ситуации.

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

Метод решения этой задачи наиболее полно рассмотрен в [3,6]. 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:

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

где  $\lambda(i,j)$  представляет собой математическое ожидание количества людей в выработке  $(i,j)$  в течение рабочего цикла (смены),  $\theta$  – 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 [8],  $\mu(i,l)$  – маршрут аварийной эвакуации людей от узла  $i$  к узлу  $l$ , находящемуся на поверхности. Более подробно особенности использования этого критерия исследованы и обобщены в работах [3, 7].

Анализ показывает, что и здесь имеет место неопределенность. Как уже отмечалось в [1], математическое ожидание количества людей в выработке уже представляет собой недостаточно определенную величину. Она характеризует значение рассматриваемого параметра за определенный (предполагаемо большой) отрезок времени и может колебаться в широких пределах. Однако этот «большой» отрезок времени не может повысить степени определенности принимаемых противоаварийных мер. Кроме того, с целью возможности аналитического исследования протекания аварийной ситуации  $\lambda(i,j)$  было принято искусственно и не совсем правомерно с точки зрения выполнений требований [2]. Именно, [2] регламентируют вывод всех людей из аварийных и угрожаемых

участков шахты в кратчайшие сроки, а приведенный выше аналитический критерий ориентирует выбор аварийного вентиляционного режима на скорейшую эвакуацию больших групп горнорабочих, что осложняет эвакуацию их мелких групп и ведет к продлению времени их движения в безопасные участки шахты и на поверхность. В настоящее время, когда в связи с увеличением возможностей вычислительной техники и эффективности информационного обмена «технолог - ПЭВМ» возникла возможность анализа различных вариантов аварийных ситуаций с вмешательством пользователя в расчетный процесс, приведенный выше критерий не может удовлетворять требованиям практики, поскольку он ориентирован на универсальный, избыточный вариант аварийной эвакуации, что может отразиться негативно на ее эргономических характеристиках и времени осуществления.

Концентрация пожарных газов в исследуемых выработках является параметром трудноопределяемым; ее критическое значение вообще находится за пределами зоны действия большинства приборов контроля, и в аналитическое выражение вышеприведенного критерия оно введено лишь для искусственного определения более подходящих (хоть также не совсем безопасных) выработок аварийной эвакуации горнорабочих. В то же время эвакуация людей должна осуществляться из всех выработок аварийной и угрожаемых по фактору загазирования зон. Поэтому введение в аналитическое выражение критерия эффективности аварийного вентиляционного режима параметра  $C(i',j')$  потеряло свою актуальность. Изменение его в двух равноценных с точки зрения аварийной эвакуации горных выработках, к примеру, на 0,01 % не может служить для предпочтения выработки с меньшим его значением для включения в маршрут аварийной эвакуации: и та, и другая выработка одинаково опасны, и предпочтение должно отдаваться выработке с более очевидными эргономическими характеристиками (длиной, углом наклона, громоздкостью, наличием пригодных для целей аварийной эвакуации технических средств и т.д.).

Скорость движения людей по маршруту аварийной эвакуации является также величиной неопределенной. Она планируется с учетом заранее задаваемых характеристик аварийной ситуации, и фактически не может учесть незапланированных, инициированных ею факторов (повышения температуры выше допустимых пределов, обрушения пород кровли, что сокращает время преодоления угрожаемого участка и т.д.).

На основании изложенного может быть сделан вывод о том, что при решении задач реализации мероприятий противоаварийной защиты угольных шахт возникает проблема неопределенности исходной, промежуточной и выходной информации решения задач вентиляции, дегазации и тактических мероприятий ПЛА. Методы устранения или учета такой неопределенности разработаны в настоящее время недостаточно. 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 пара-

метров возникновения и протекания аварийной ситуации независимо от времени, как это делается в настоящее время).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело – М.: Недра, 1972.- 356 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. Яценко// 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