

снизит концентрацию метана в районе вентиляционного штрека, поскольку теперь газ сможет двигаться только в ограниченной зоне области активных сдвижений.

Полезную роль в предотвращении перетока газа через массив, окружающий ранее выработанное пространство может сыграть затопление старых работ на уровне погашенного конвейерного штрека. Хотя с точки зрения комфортности работ в лаве это приведет к значительным неудобствам для рабочих из-за возможных перетоков воды. Эффективным мероприятием борьбы перетока газа через вмещающие ранее выработанное пространство породы может быть дегазация почвы через скважины, которая применяется как дополнение к дегазации кровли. Указанное мероприятие планируется к применению на шахте им. Засядько. Однако такое решение следует проверить путем математического моделирования с соответствующим изменением граничных условий. Дело в том, что дегазация почвы перехватывает газ из пород почвы, находящихся в зоне активных сдвижений. Однако с другой стороны она создает движущий градиент для перетока дополнительного количества газа из ранее выработанного пространства. Представляется, что первый эффект перевесит второй, однако следует проверить его влияние на численной модели.

Предусматривается продолжить исследования процессов фильтрации метана в окрестности примыкающей к ранее выработанному пространству лавы при уточненных граничных условиях и распределении проницаемости вмещающих пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скочинский А.А., Комаров В.Б. Рудничная вентиляция. – М.: Углетехиздат, 1949. – 442 с.
2. Этгингер И.А. Физическая химия газоносного угольного пласта. – М.: Наука, 1981. – 104 с.
3. Заря Н.М., Музафаров Ф.И. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой // Уголь Украины. – 1966. – №12. – С. 9-12.

УДК 622.867.004.6:65.012.2

И.Е. Кокоулин

### К ВОПРОСУ О СОСТАВЛЕНИИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ

Сформульовано основні принципи переходу від плану ліквідації аварій (ПЛА), який формується завчасно та використовується в початковий період ліквідації аварій, до оперативного плану ліквідації аварій, який складається, якщо мір, передбачених ПЛА, недостатньо для своєчасної евакуації гірників з шахти та ліквідації аварії.

### TO THE QUESTION ABOUT COMPOSITION OF THE OPERATIVE PLAN LIQUIDATION OF THE ACCIDENTS

The main principles of transition from the plan liquidation of the accidents (PLA), which forming in good time and using in a first period of liquidation of accident, to the operative PLA, which forming, if a measures, foreseed by PLA, insufficiently for the timely evacuation miners from the mine and liquidation of accident

Современные угольные шахты представляют собой сложные технологические объекты, на которых, вследствие интенсификации производственных

процессов, перехода на большие глубины и работы в условиях проявления большого количества вредностей технологического характера повышается опасность возникновения сложных аварий – экзогенных и эндогенных пожаров, взрывов метана и угольной пыли, внезапных выбросов угля, породы и газа. Ликвидация таких аварий представляет значительную сложность, связана с привлечением большого количества специально обученного персонала, материальными затратами. Поэтому разработка мер и действий по сокращению времени и снижению затрат на ликвидацию шахтных аварий представляет значительный практический интерес.

Результаты расследования причин возникновения шахтных аварий показывают, что крупная авария представляет собой сложное событие, состоящее из многих более простых взаимосвязанных и взаимообуславливающих событий. Авария по своей структуре – разветвленная параллельно-последовательная цепь элементарных событий. Конечное событие происходит при наличии всех элементарных событий и более того, когда они совпадают в пространстве и с некоторым интервалом во времени.

Например, для экзогенного пожара необходим ряд условий, но обязательным должно быть накопление горючих материалов в выработке и присутствие источника их возможного воспламенения (искрение электропроводки, нагрев при трении конвейерной ленты выше допустимого предела и т.д.). Последствия, в свою очередь, зависят от количества подверженного загоранию материала, количества людей, находящихся в опасной зоне, правильности их действий, режима проветривания и т.д.

В связи с тем, что крупной аварии предшествует определенный “инкубационный” период, руководители предприятия, работники ГВГСС, лица надзора имеют необходимое время, чтобы критически оценить состояние дел на том или ином участке работ, и в случае “назревания” аварии принять меры по устранению нарушений с тем, чтобы разорвать цепь элементарных событий, ведущую к аварии. Одной из основных мер, направленных на снижение негативных последствий аварии для горного предприятия, является составление для него плана ликвидации аварий (ПЛА).

Главное назначение ПЛА, как известно, заключается в том, чтобы заранее в деталях на каждый возможный случай аварии разработать и последовательно изложить инженерные решения и меры по спасению и эвакуации людей из опасных зон и выполнению различных видов работ по ликвидации аварии. Составляется ПЛА ведущими специалистами шахты – главным инженером и начальником участка вентиляции и техники безопасности (ВТБ), в совершенстве знающими шахту, условия протекания технологического процесса в ней, вероятные места возникновения его нарушений, которые могут вызвать возникновение аварийной ситуации. Большой инженерный опыт составителей ПЛА позволяет учесть максимально возможное число факторов, влияющих на эффективность ликвидации возникшей аварии.

При разработке ПЛА имеется, однако, ряд трудностей. Постоянная проходка новых выработок, погашение старых часто приводят к изменению вентиляционного режима, запасных выходов, маршрутов передвижения людей и требуют

систематического контроля и своевременного пересмотра принятых в ПЛА решений с внесением соответствующих изменений и дополнений в текстовую и графическую часть ПЛА. С целью уменьшения указанных переделок ПЛА в процессе работы его следует разрабатывать с некоторой перспективой развития горных работ. Поэтому актуальной является разработка методов автоматизации составления ПЛА на основе имитационного моделирования протекания шахтной аварии, что позволит заблаговременно прогнозировать различные варианты протекания наиболее сложных аварий и оценивать целесообразность и возможность применения в этих случаях мероприятий составленного ПЛА.

Работы в этом направлении ведутся в ИГТМ НАН Украины с 1980 года; заинтересованные лица могут обратиться к монографии [1], в которой изложены результаты выполненных исследований.

Вместе с тем крупные аварии отличаются длительностью и большими трудозатратами на ликвидацию. Например, средняя продолжительность ликвидации экзогенного пожара на угольных шахтах России и Украины составляет 100 – 150 часов, а трудозатраты горноспасателей при этом достигают 1200 чел/часов. Ясно, что указанные цифры значительно превышают нормативное время реализации мероприятий ПЛА и предусмотренные в нем затраты человеческих и материальных ресурсов.

Протекание крупной аварии может быть условно разделено на четыре временных периода.

Первый период – это время от момента возникновения аварии до ввода в действие ПЛА. Вследствие недостатков системы обнаружения аварий (на многих шахтах отсутствуют или имеются в недостаточном количестве датчики обнаружения загорания за счет изменения концентрации окиси углерода или других составляющих шахтной атмосферы, и обнаружение пожара зависит в значительной степени от случайных факторов: нахождения людей в непосредственной близости от очага аварии, внимательного отношения к обнаружению ее косвенных признаков и т.д.) этот период может быть довольно значительным, составляя 30 и более минут. Даже после поступления информации горному диспетчеру о возникновении аварии проходит еще некоторое время, необходимое ему для анализа ситуации и принятия решения о вводе в действие той или иной позиции ПЛА. В этот период рабочие обычно действуют, руководствуясь с правилами личного поведения во время аварии, поскольку указаний о действиях в соответствии с выбранной позицией ПЛА они еще не имеют.

Второй период – время, необходимое для выполнения мер, предусмотренных ПЛА, т.е. время, в течение которого реализуются самые необходимые действия по спасению людей, застигнутых аварией в шахте, и, если это возможно – ликвидации ее очага. Продолжительность этого периода зависит от характера аварии, места ее возникновения и других факторов и составляет, как правило, 1,5 – 3 часа. Заканчивается обычно этот период после вывода всех людей из опасной зоны и реализации мер согласно действующей позиции ПЛА.

Оба эти периода принято объединять в один и называть начальным периодом ликвидации аварии. Как характер возможного протекания аварии, так и последствия осуществления мероприятий ПЛА при определенных упрощаю-

щих допущениях могут быть формализованы и реализованы в виде имитационной модели [1].

Третий период – это время ликвидации аварии активным способом после вывода людей; он может продолжаться несколько суток. В это время изолируется пожарный очаг и ликвидируются наиболее существенные последствия аварии для возобновления работ на отдельных участках шахты. Поскольку горнорабочих в шахте нет, и в аварийных и угрожаемых участках шахты работает только специально обученный и оснащенный персонал подразделений ГВГСС – критерии эффективности мероприятий по ликвидации аварии в этот период отличаются от критериев, положенных в основу ПЛА.

Четвертый период – это время окончательной ликвидации аварии или ее последствий. Для экзотенного пожара он начинается после завершения изоляции аварийного участка; в ходе его осуществляется контроль за изоляционными сооружениями, содержанием газов, температурой в аварийном участке и в соседних с ним действующих горных выработках. Заканчивается он вскрытием изолированного пожарного участка и возобновлением нормального функционирования горного предприятия.

Очевидно, что выполнение мероприятий четвертого периода не требует оперативности. Практически все необходимые аэро-, термо- и газодинамические параметры могут быть непосредственно замерены, проанализированы и учтены при реализации запланированных мероприятий.

Иначе обстоит дело в третьем периоде. К началу его все мероприятия ПЛА, как правило, выполнены. Создается ситуация, когда отсутствует достаточно четкая и полная информация о протекании аварии, и для выработки рекомендаций по дальнейшей ликвидации аварии необходимо произвести разведку обстановки в шахте. В этих условиях разрабатывается оперативный план ликвидации аварий – документ не менее важный, чем ПЛА. Практически это осуществляется следующим образом. Группа лиц, ответственных за ликвидацию аварии, во главе с ответственным руководителем работ, на основании оперативной информации о состоянии шахты на текущий момент времени, личного опыта и интуиции намечают перечень мероприятий в порядке необходимости их исполнения. В число таких мероприятий обычно включаются:

1. Указание выработок, входящих в опасную зону.
2. Указание мест выставления постов ГВГСС.
3. Установление мест замеров количества воздуха, температуры, концентрации газов в рудничном воздухе.
4. Определение объемов аварийных, разведочных и восстановительных работ, сроков их выполнения, а также необходимой численности задействованных для этой цели отделений ГВГСС, ВГК и рабочих шахты.
5. Определение участков, выработок, забоев, в которых разрешается (запрещается) вести горные работы по добыче угля, и разработка для них дополнительных мер по безопасности работ.
6. Пересмотр соответствующих позиций ПЛА в связи с изменением запасных выходов, схем проветривания, электроснабжения.
7. Установление условий, при которых спасательные и другие виды работ в шахте должны прекращаться, а люди – выводиться в безопасное место.

Решение перечисленных задач достаточно сложно, поскольку базируется на сведениях об оперативной обстановке в шахте на момент разработки оперативного ПЛА. Достоверность информации в этих условиях зачастую сомнительна, она может быть получена с опозданием и не отвечать требованиям создавшейся ситуации. Кроме того, находясь в стрессовой ситуации, разработчики оперативного ПЛА не всегда в состоянии интуитивно правильно оценить все аспекты протекания аварии. Помощь в решении этих задач может также оказать имитационное моделирование.

Составляя ПЛА шахты с использованием методики [1], главный инженер (начальник участка ВТБ) шахты использует ряд полученных на имитационной модели характеристик протекания экзогенного пожара. Так, например, критерием эффективности аварийного вентиляционного режима является минимум количества людей, оказавшихся при его осуществлении в зоне шахтной вентиляционной сети (ШВС), на которую оказывают влияние поражающие факторы экзогенного пожара (нарушение температурного режима  $\{t(i,j)\}$  и загазирование  $\{C(i,j)\}$  газообразными продуктами горения). Следовательно, исходными предпосылками моделирования являются расчет воздухораспределения в ШВС (для определения всех  $sign Q(i,j)$  – направлений движения воздуха в выработках  $(i,j)$  и  $v(i,j)$  – его скоростей) и формирование на его основе зон распространения вредностей аварийного характера. Иными словами, вспомогательной информацией при составлении ПЛА являются количественные характеристики аэро-, газо- и термодинамической обстановки, создавшейся в шахте на выбранный момент времени. Если в качестве такого момента принять окончание оперативного времени ПЛА – разработчики оперативного ПЛА будут располагать заблаговременно сформированной имитационной моделью состояния шахты, пригодной для выбора мероприятий оперативного ПЛА. В ней присутствует вся информация, необходимая для разработки мероприятий 1, 2 (посты ВГСЧ выставляются на границах аварийных и угрожаемых участков), 3 (все необходимые замеры должны производиться в выработках  $(i,j)$ , где при моделировании получено  $t(i,j) \neq 0$  и/или  $C(i,j) \neq 0$ ), частично 4 (объемы разведочных работ и численность направляемых для этой цели отделений ВГСЧ определяются конфигурацией и объемом зон ШВС с  $t(i,j) \neq 0$ ,  $C(i,j) \neq 0$ ) и 5 (разрешение или запрещение ведения работ зависит от времени  $\tau$  стабилизации зоны  $\{C(i,j)\}$  после проведения вентиляционных маневров, которое определяется расчетом времени перемещения пожарных газов по всем маршрутам ШВС от их первичных или вторичных источников к вентиляционным стволам и на поверхность). Если даже эта информация недостаточно точна – корректировка ее гораздо менее трудоемка, а результат более достоверен, чем основанный на реальных сведениях о ходе протекания аварии, получение которых затруднительно.

Если разработчики оперативного ПЛА пришли к выводу о необходимости изменения аварийного вентиляционного режима с целью создания лучших условий для проведения аварийных и восстановительных работ – возникает необходимость в разработке мероприятий типов 6 и 7. Изменение аварийного вентиляционного режима может повлечь, очевидно, изменение схемы

проветривания аварийного участка и, как следствие, - изменить запасные выходы из выработок рассматриваемой позиции ПЛА. Поэтому реализации мероприятий типа 6 должна предшествовать проработка вариантов изменения вентиляционного режима и выбор оптимального из них на основе некоторого критерия. Критерий этот, если разработка оперативного ПЛА начинается, когда аварийная эвакуация горнорабочих еще не закончена, совпадает с использованным при оптимизации мероприятий ПЛА; в противном случае из его аналитического выражения необходимо исключить параметры, характеризующие человекоемкость выработок и условия аварийной эвакуации горнорабочих, и добавить, при необходимости, другие, отражающие изменения условий оптимизации аварийного вентиляционного режима на этапе составления оперативного ПЛА. Численные значения такого измененного критерия будут служить основой для разработки мероприятия типа 7: если они превышают некоторую допустимую величину – все виды аварийных и восстановительных работ в шахте должны быть прекращены, а люди, включая персонал ВГСЧ, – эвакуированы.

Следует отметить, что разработка оперативного ПЛА, в отличие от ПЛА, предназначенного для использования во втором периоде протекания шахтной аварии, производится в оперативном режиме, когда требования к точности имитационной модели повышаются, а на отработку всех прогнозируемых вариантов протекания и ликвидации аварии может просто не хватить времени. Поэтому имитационное моделирование в этом случае будет наиболее эффективным при условии использования его в комплексе с экспертной системой, основанной на методах анализа и обобщения неполной и нечеткой исходной информации (пример такого метода анализа иерархий приведен в [2]), для оценки вырабатываемых рекомендаций в режиме работы “эксперт - ПЭВМ”.

Проанализированные аспекты выбора мероприятий и разработки оперативного ПЛА положены в основу разрабатываемого в ИГТМ НАН Украины программного комплекса, сочетающего имитационное моделирование, формальные расчетные методы и эвристические процедуры принятия решений для выбора мероприятий оперативного ПЛА и ввода его в действие с учетом особенностей системы противоаварийной защиты шахты.

Анализ плана ликвидации аварий шахты им. А.Ф. Засядько, являющейся одним из наиболее сложных угледобывающих комплексов в системе Госуглепрома Украины, особенностей ввода его в действие и управления ликвидацией аварии на этапе формирования и реализации оперативного ПЛА показал перспективность предлагаемых подходов. Они будут несомненно способствовать повышению качества формирования и использования оперативного ПЛА, а значит – и безопасности труда подземных горнорабочих.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потемкин В.Я., Козлов Е.А., Кокоулин И.Е. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. - К.: Наукова думка, 1991. - 126 с.
2. Кокоулин И.Е. Анализ иерархий в задачах плана ликвидации аварий // Безопасность труда в промышленности. - 1996. - № 5. - С. 20-23.