

УДК 622.867.004: 005.2

СИСТЕМА КОЛЛЕКТИВНОГО СПАСЕНИЯ ГОРНОРАБОЧИХ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙ В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ**¹Кокоулин И.Е., ²Ященко И.А., ³Клименко А.А.**

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Министерство энергетики и угольной промышленности Украины, ³Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

СИСТЕМА КОЛЕКТИВНОГО СПАСІННЯ ГІРНИКІВ ПРИ ВИНИКНЕННІ АВАРІЇ У ВУГІЛЬНІЙ ШАХТІ**¹Кокоулін І.Є., ²Ященко І.О., ³Клименко Г.О.**

¹Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, ³Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури»

SYSTEM OF COLLECTIVE RESCUE OF MINERS IN CASE OF OCCURRING OF EMERGENCY IN COAL MINE**¹Kokoulin I.Ye., ²Yashchenko I.A., ³Klymenko H.O.**

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, ³State Higher Educational Institution «Pridneprovsk State Academy of Building and Architecture»

Аннотация. Система противоаварийной защиты шахты в качестве составляющей включает план ликвидации аварий (ПЛА), определяющий меры и действия персонала и военизированных горноспасательных частей по спасению людей и ликвидации аварии в кратчайшие сроки. При получении сигнала о возникновении такой аварии горнорабочие включаются в самоспасатели и следуют по маршрутам, определенным соответствующей позицией ПЛА, в безопасные места или на поверхность. Аварийная эвакуация горнорабочих из шахты при возникновении аварии, вызывающей загазирование обширных участков газообразными продуктами (экзогенный пожар, взрыв метана и т.д.) представляет собой сложный процесс. Правилами безопасности регламентируется при ее возникновении включение всего персонала в самоспасатели и выход на поверхность, максимально минуя загазированные участки. Однако, в связи со сложностью вентиляционной системы шахты и большой протяженностью горных выработок, такое решение возможно не всегда. Возможно возникновение ситуации, когда срок защитного действия самоспасателя истекает на маршруте, и необходимо принятие дополнительных мер. Необходимо организовать пункт переключения горнорабочих в резервные самоспасатели (ППС). Если же и такой меры окажется недостаточно – рабочих необходимо направить к стационарному пункту коллективного спасения (ПКСП), где они могут дожидаться прибытия горноспасателей. Таким образом, в общем случае на шахте должна быть организована система коллективного спасения горнорабочих, включающая использование самоспасателей, ППС и ПКСП. Если расположение последних закладывается в проект развития или реконструкции шахты, то места расположения ППС привязаны к конкретной аварийной ситуации. Впервые предложен метод их выбора для всех вариантов возникновения аварий в шахте с учетом человекоемкости аварийных и угрожаемых участков и аварийного вентиляционного режима. Реализация его будет способствовать повышению эффективности аварийной эвакуации и безопасности труда горнорабочих.

Ключевые слова: экзогенный пожар, аварийная эвакуация, самоспасатель, пункты переключения, пункты коллективного спасения.

Система противоаварийной защиты шахты (СПАЗ) в качестве составляющей включает план ликвидации аварий (ПЛА), определяющий меры и действия персонала и военизированных горноспасательных частей (ГВГСС) по спасению людей и ликвидации аварии в кратчайшие сроки.

Среди шахтных аварий наиболее опасными являются аварии (экзогенные пожары, взрывы метана и др.), вызывающие загазирование горных выработок токсичными продуктами горения.

При получении сигнала о возникновении такой аварии горнорабочие включаются в самоспасатели и следуют по маршрутам, определенным соответствующей позицией ПЛА, в безопасные места или на поверхность [1].

В ходе реализации задачи аварийной эвакуации необходимо определить:

- а) начальные пункты аварийной эвакуации;
- б) маршруты эвакуации горнорабочих на поверхность;
- в) время движения по маршрутам.

Эффективность и безопасность проведения эвакуации заключается в полноте охвата всех участков нахождения горнорабочих, подлежащих эвакуации, и минимизации суммарного времени преодоления выбранных для этой цели маршрутов, т.е. оперативного времени ПЛА.

Как указано в [2] (п. 3.6), "пути вывода людей должны быть указаны в оперативной части ПЛА для каждого места работы..." и "...в первую очередь указываются пути выхода людей из аварийного участка, а затем из угрожаемых и неугрожаемых участков".

Местами работы являются не только выемочные участки, но и выработки вспомогательного назначения, в которых проводятся электромонтажные работы, работы по ремонту горных выработок и т.д. Учитывая, что (п. 3.7) "участок относится к угрожаемому, если в результате произошедшей аварии он может быть загазован...", количество маршрутов аварийной эвакуации будет исчисляться десятками. Поэтому требования [2] относительно аварийной эвакуации горнорабочих не следует понимать буквально.

На практике маршруты аварийной эвакуации людей в оперативной части ПЛА описываются не из каждого рабочего места или угрожаемого участка, а из некоторой их совокупности. При этом объединение при этом производится по принципу единства маршрутов, т.е. единства направления движения и конечного пункта эвакуации. Таким множеством начальных пунктов аварийной эвакуации является позиция ПЛА.

Оценка энергоемкости 125 маршрутов аварийной эвакуации на 11 шахтах Донбасса показала, что наиболее распространенный на шахтах изолирующий самоспасатель ШСС-1 с временем защитного действия от 30 до 50 минут не обеспечивают безопасного выхода людей из горизонтальных выработок в 23% случаев, из сети выработок выемочных полей – в 46% случаев. Для преодоления 72% лав крутого падения затрачивается практически вся защитная мощность самоспасателя. Эта ситуация может быть улучшена использованием дополнительных запасных выходов. Это – выработки, оставленные после проходки или пройденные специально для целей аварийной эвакуации. Такие мероприятия осуществимы лишь на этапе проектирования или реконструкции шахтной вентиляционной сети (ШВС). Другим вариантом решения задачи является увеличение времени защитного действия самоспасателя. Однако при этом и так достаточно тяжелый и неудобный для постоянного ношения

самоспасатель станет и вовсе неподъемным. Для длительного движения в таком самоспасателе потребуется специальная подготовка горняков. Физические нагрузки на преодоление длинных маршрутов шахтерами, включенными в изолирующие самоспасатели, и так серьезно возросли и классифицируются как «тяжелые» и «очень тяжелые» дыхательные режимы [3]. Поэтому в шахтах США, ФРГ, Франции, Южной Африки и ряда других стран подземный персонал носит при себе постоянно малогабаритные изолирующие самоспасатели со временем защитного действия около 20 мин.[14]. Форма и вес этих самоспасателей практически не стесняют рабочих движений. При возникновении аварии персонал выходит из опасной зоны под защитным действием такого самоспасателя до камеры-убежища, где переключается в самоспасатели с защитным сроком действия до 90 минут и более, и выходит по маршруту в безопасное место. Такой принцип самоспасения является оптимальным. Однако обеих составляющих такой системы самоспасения в Украине в настоящее время нет. Предпринимавшиеся в начале 2000-х годов попытки создания малогабаритного самоспасателя не имели успеха ввиду отсутствия финансирования.

При организации аварийной эвакуации необходимо руководствоваться указанием [2] о том, что: «В качестве временных мер защиты людей, не имеющих возможности выйти на свежую струю воздуха за время защитного действия само-спасателя, могут быть использованы специальные камеры, в которых осуществляется переключение в резервные самоспасатели». Должна быть организована комбинированная система спасения горнорабочих. В состав ее входят использование самоспасателей и пункты переключения в самоспасатели (ППС) типа ПСП или ПСПМ (передвижные), средства аварийного воздухообеспечения «Воздух-3» или ПСА-1, самоспасатели в контейнерах и т.д.

ППС [4] предназначены для:

- а) переключения горняков из самоспасателей с истекающим временем защитного действия в резервный самоспасатель на длинных маршрутах выхода;
- б) для включения горняков в самоспасатели при отсутствии у них собственных аппаратов в аварийной обстановке. Такое положение возникает в случае, если горнорабочий снял самоспасатель ввиду неудобства выполнения с ним производственных обязанностей и не успел воспользоваться им при получении сигнала об аварии;
- в) для обеспечения горняков пригодным для дыхания воздухом, когда они ожидают в зоне спасательного передвижного пункта восстановления нормальной вентиляции.

В Научно-исследовательском институте горноспасательного дела «Респиратор» разработано несколько типов ППС, отличающихся способом кислородопитания и количеством людей, которые могут быть одновременно включены в пункт [4]. В дальнейшем они были усовершенствованы. В связи с тем, что большинство шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным выбросам угля и газа, имеют магистраль сжатого воздуха, на базе ПСП был

разработан вариант ППС с подключением его воздухоподающей системы непосредственно к шахтной пневмосети. Этим было снято ограничение с времени пребывания в ПСП людей, включенных в его воздухопроводы.

Пункты переключения АД-180 и АД-360 широко использовались еще в СССР. В настоящее время в России разработан пункт переключения модульного типа ППРС, в Украине («Респиратор») – АСП (аппараты спасательные передвижные). Они могут работать как в автономном режиме, так и включаться в системы безопасности шахт – унифицированную телекоммуникационную автоматизированную систему диспетчерского управления горными машинами и технологическими комплексами (УТАС), комплекс аэрогазовый информационный (КАГИ), систему комплексной безопасности (СКБ).

Задача формирования системы маршрутов аварийной эвакуации людей с учетом использования ППС была решена в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины [5] в следующей постановке: найти

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^{n_1} \mu(k_i, I_k^1) + \sum_{j=1}^{n_2} \left[\mu(k_j, I_c^2) + \mu(k_l, I_k^3) \right] + \max \tau' \rightarrow \min, \quad (1)$$

где I_n^l – множество начальных узлов (начальное маршрутное множество) маршрутов без использования ППС (тип 1, $i=1$) или с их использованием (тип 2, $i=2$); I_c^l – конечное маршрутное множество 2 ($i=2$) или начальное 3 (от ППС на поверхность, $i=3$) типа; I_k^l – конечное маршрутное множество 1 ($i=1$) или 3 ($i=3$) типа; n_1, n_2 – мера множества I_k^1 и I_c^2 соответственно; $\mu(k_i, I_k^l)$ – маршрут движения людей от i_k до ближайшего узла конечного маршрутного множества; \bar{M} – суммарное время аварийной эвакуации (оперативное время ПЛА); τ' – время переключения в свежий самоспасатель на маршрутах комбинированного типа. Суммирование в (1) производится по времени преодоления маршрутов.

При решении задачи предполагалось, что места расположения ППС заранее известны.

В случае, если использования ППС для безопасной эвакуации недостаточно – на маршрутах аварийной эвакуации необходимо организовывать пункты коллективного спасения персонала (ПКСП).

Оснащение выработок шахты ПКСП и ППС должно осуществляться, исходя из следующих критериев:

а) при необходимости одного переключения в резервный самоспасатель по маршруту выхода из шахты, т.е. формирования маршрута

$$\mu = \mu(k_j, I_c^2) + \mu(k_l, I_k^3),$$

$k_j \in I_n^2 \quad k_l \in I_c^3$

на маршруте размещается ППС;

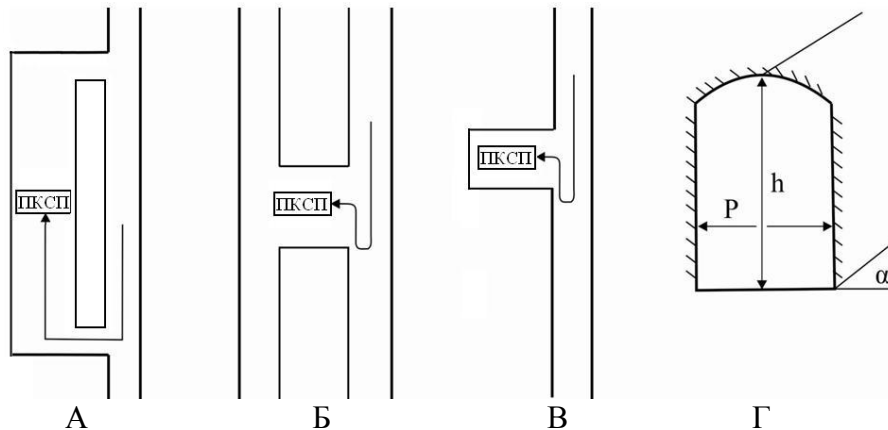
б) при необходимости двух и более переключений на маршруте, т.е. формирования маршрута

$$\mu = \mu(k_j, I_c^2) + \mu(k_l, I_m^3) + \mu(k_m, I_k^3) + \dots, \\ k_j \in I_n^2 \quad k_l \in I_c^3 \quad k_m \in I_c^3$$

(что запрещено [1]), дополнительно оборудуется ПКСП. Он должен находиться на участке маршрута эвакуации между двумя предполагаемыми ППС.

Поскольку не ПКСП «подстраивается» к ППС, а наоборот, маршруты эвакуации необходимо строить таким образом, чтобы место расположения ПКСП считалось заданным, а места расположения ППС определялись по отношению к нему. Решение задачи п. а) не является обязательным. Если ПКСП находится на расстоянии $L < \tau_{c.c.}$ для группы направляющихся к нему людей – решение промежуточной задачи об организации ППС отпадает;

ПКСП могут располагаться в горных выработках следующим образом (рис. 1).



А – в специально пройденной выработке; Б – в сбойке; В – в нише основной выработки, Г - геометрические характеристики места расположения ПКСП. Стрелками обозначено направление входа в камеру при нормальном режиме проветривания.

Рисунок 1 – Схемы расположения ПКСП на маршруте аварийной эвакуации горнорабочих

Вариант а) наиболее предпочтителен, т.к. ПКСП отделен от действующей выработки и меньше подвержен воздействию взрывной волны или продуктов горения. По стоимости и продолжительности возведения наименее затратен вариант б), т.к. необходимые подготовительные работы по размещению ПКСП не требуются. Вариант в) требует работ по обустройству ниши в действующей выработке и возведения взрывоустойчивой ограждающей перегородки.

Одна из разработок НИИГД соответствует варианту Б на рис.1. Пример такого ПКСП (также вариант Б), действующего на шахтах Российской Федерации [15], приведен на рис 2.

Стационарные камеры-убежища вошли составной частью в стандарты Минуглепрома Украины [7,8,9]. Нормативным документом [8] регламентируются скорости движения эвакуируемых людей в зависимости от создавшихся аварийных условий, документом [9] – оборудование ПКСП, [7] – методические подходы к выбору мест расположения ПКСП.

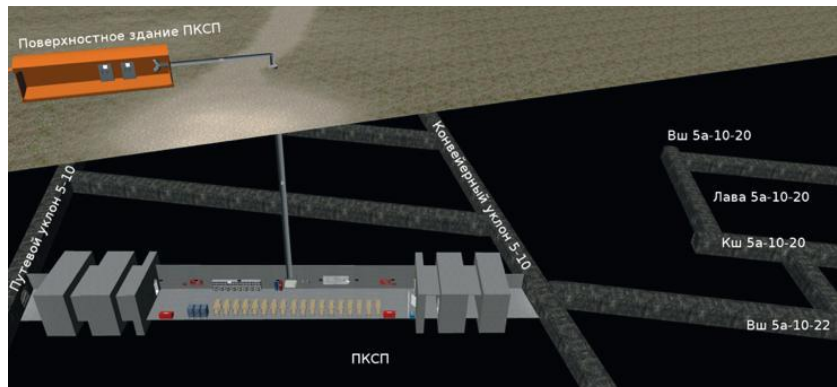


Рисунок 2 – Расположение ПКСП в сбойке между уклонами

В соответствии с ними, независимо от места расположения ПКСП он должен обеспечивать:

- а) защиту горнорабочих от вредных газов, образующихся при пожарах и взрывах;
- б) защиту от воздействия высокой температуры;
- в) защиту от возможных повторных взрывов;
- г) снабжение воздухом, пригодным для дыхания без применения индивидуальных средств защиты;
- д) возможность постоянной связи с горным диспетчером;
- е) приемлемые санитарно-гигиенические условия обитания;
- ж) жизнеобеспечение не менее 24 часов.

Согласно [10], минимальные размеры выработок, используемых для размещения ПКСП, должны быть: $h \geq 1,8$ м., $P \geq 2$ м., $\alpha \leq 18^\circ$ (рис. 1Г). Другие параметры (на человека): минимальные

- а) площадь пола – не менее $0,6 \text{ м}^2$;
- б) площадь внутренней поверхности выработки по тепловому фактору – не менее $2,5 \text{ м}^2$;
- в) объем по газовому фактору – не менее 5 м^3 .

Таким образом, в дополнение к первичной мере – включению персонала в самоспасатели и началу движения по маршрутам аварийной эвакуации – необходимо предусмотреть дополнительные: использование ППС и ПКСП. Т.е. определить места их расположения в шахте, способствующие наиболее эффективному использованию комбинированной системы спасения горнорабочих.

ПКСП являются в основном стационарными инженерными сооружениями с длительным сроком эксплуатации, Некоторые компоненты их базиса могут ликвидироваться и заменяться новыми. ПКСП могут использоваться как людьми, эвакуируемыми по разным маршрутам, так и прибывающими горноспасателями.

К ПКСП привязываются как маршруты аварийной эвакуации, так и места расположения ППС. Расположение ПКСП в горных выработках, их количество и вместимость в каждом конкретном случае определяются проектной

документацией шахты. По мере развития горных работ эта документация корректируется.

ППС являются мобильными, места их расположения в горных выработках регламентируются «Типовыми схемами оснащения участков шахт средствами самоспасения», и базис более гибок. При их выборе руководствуются следующими соображениями:

а) учитывается протяженность загазованных выработок от места возможного возникновения аварии до выработки, проветриваемой свежим воздухом, по ходу вентиляционной струи;

б) для добычных участков в этот маршрут включаются откаточный штрек, лава и выработки вентиляционного горизонта до выхода на свежую струю;

в) если в маршруте есть средства механизированной доставки – время движения людей по выработкам рассчитывается как при движении в пешем порядке;

г) скорость движения людей по выработкам рассчитывается в соответствии с табл. 1 [8].

Требование а) предполагает увязку места расположения ППС как с местом возможного возникновения аварии, так и с аварийным вентиляционным режимом. Установка ППС предполагается в том случае, если на расстоянии от очага пожара i^* [12,13] $L(i^*,j) = V_{\text{л}} \times \tau_{\text{с.с.}}$, где $V_{\text{л}}$ – средняя скорость движения людей по маршруту $\mu(i^*,j)$, на маршруте аварийной эвакуации не встретился узел с поступлением свежего воздуха, т.е. узел $i \Rightarrow \exists(i_k, i) \notin \theta_3$, и выработка проходима по геометрическим и эргономическим характеристикам. Смещение точки i^* вызовет изменение местоположения ППС. Изменение аварийного вентиляционного режима может обусловить возникновение другой зоны загазования $\{(j_r', i') \notin \theta_3, i' \neq i, i' \in \mu(i^*, i)\}$.

На местоположение ППС влияет также то, что горнорабочие, прибывающие к ППС в точке i , не должны им пользоваться в обязательном порядке. Те из них, у кого $\tau_{\mu(i^*, i)} \leq \tau_{\text{с.с.}}$, следуют далее, до свежей струи или другого ППС.

Перечисленные моменты позволяют сформулировать дополняющие а)-г) соображения по выбору мест расположения ППС:

д) в качестве узлов i^* последовательно рассматриваются (для каждого из предусмотренных ПЛА аварийных вентиляционных режимов) все точки входа вентиляционной струи в ШВС. При этом образуется максимально возможная для данного режима зона θ_3 . Даже если этот режим не оптимален, до установления нового аварийного он будет в шахте осуществляться, и рабочие вынуждены будут эвакуироваться по маршрутам, выбранным с его учетом;

е) использование ППС ограничено его физической емкостью $\lambda_{\text{ф}}$. Направление к рассматриваемому ППС слишком большого количества горнорабочих не-допустимо. Если $\lambda_{\text{ф}}$ не хватает для обеспечения эвакуируемых людей – необходимо выбрать место расположения другого ППС, имеющего такие же эргономические характеристики.

Алгоритм решения задачи выбора мест расположения ППС в шахте представлен на рис. 3.

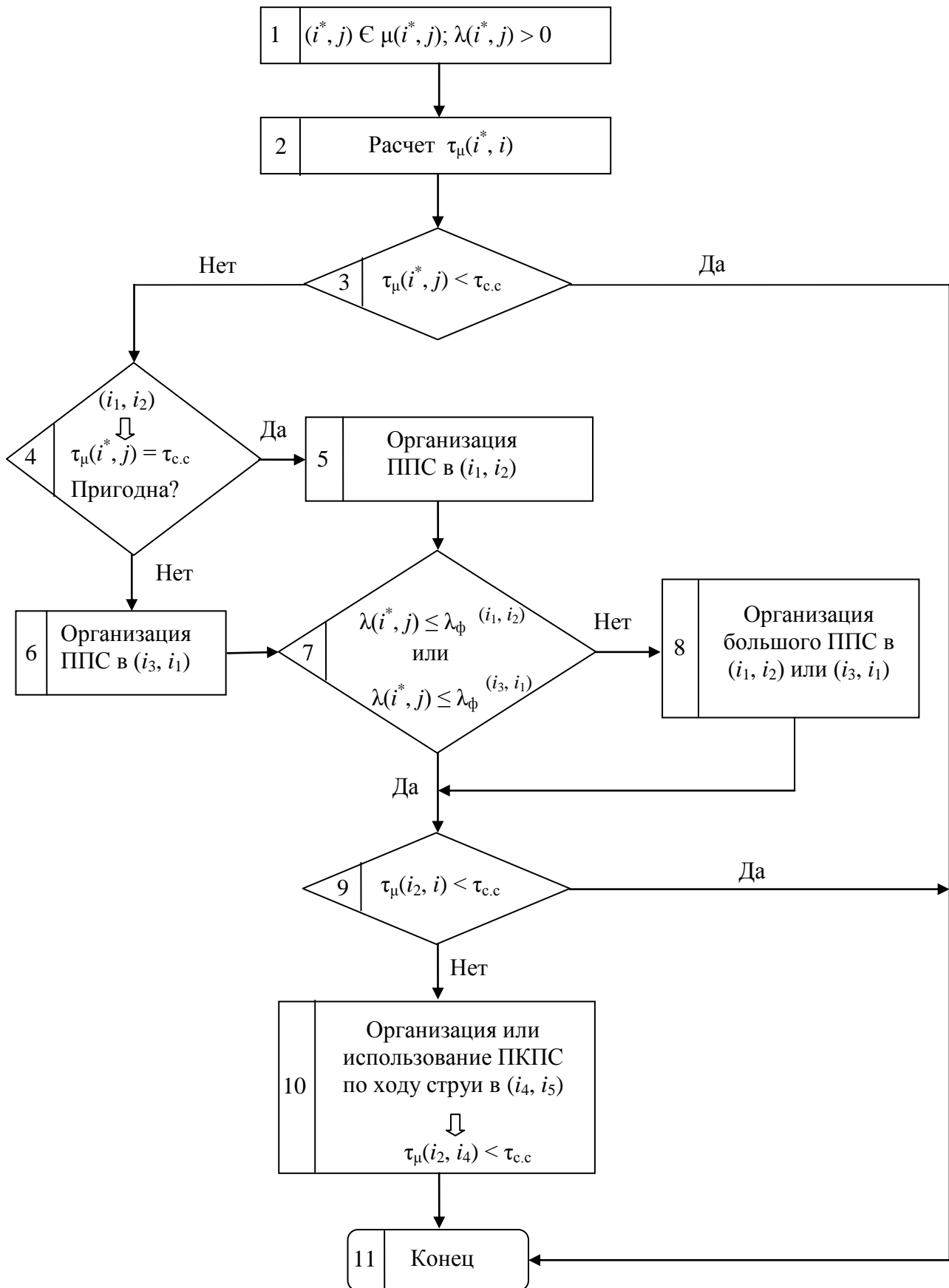


Рисунок 3 – Алгоритм решения задачи выбора мест расположения ППС в шахте

Пусть аварийная эвакуация людей производится из ветви (i^*, j) к узлу i ветви $(j_k, i) \notin \theta_j$ (блок 1). Совокупность маршрутов аварийной эвакуации людей представляет собой древовидную (при наличии нескольких предназначенных для эвакуации шахтных стволов – с несколькими "корнями") структуру. ППС располагаются ближе к "корню" дерева. При этом может возникнуть несколько вариантов аварийной эвакуации:

а) $(i^*, j) \in \mu(i^*, i)$ – единственная ветвь на маршруте, для которой определена человекоемкость $\lambda(i^*, j)$ [5], т.е. наличие людей на момент начала эвакуации. На протяжении всего $\tau(i^*, j)$ (блок 2), т.е. времени движения по маршруту, в движении находится единственная группа людей $\lambda(i^*, j)$, и эргономическая характеристика маршрута $f(\tau) = \lambda(i^*, j) \times \tau(i^*, i_k)$, $i_k = i^*, \dots, i$ на каждом его отрезке носит линейный характер.

Производится анализ (блок 3):

1) если $\tau(i^*, i) < \tau_{c.c.}$ – маршрут может быть построен без применения ППС;

2) если $\tau(i^*, i) \geq \tau_{c.c.}$, и $\lambda(i^*, j) < \lambda_\phi$ – ППС организуется в точке i_1 , для которой $\tau(i^*, i_1) = \tau_{c.c.}$ (блоки 4,5); если эта точка находится в выработке, где ППС не может быть расположен по геометрическим или технологическим соображениям – производится смещение по маршруту в обратном направлении до достижения точки i_3' , $\tau(i^*, i_3') < \tau(i^*, i_1)$, где ППС организован быть может (блок 6). Если $\tau(i^*, i) - \tau(i^*, i_3') < \tau_{c.c.}$ – решение получено. В противном случае рассмотрение повторяется, как описано выше, и т.д.;

3) если $\tau(i^*, i) \geq \tau_{c.c.}$, и $\lambda(i^*, j) > \lambda_\phi$ – точек, аналогичных i' или i'' несколько (конкретно $[\lambda(i^*, j)/\lambda_\phi] + 1$), и в них организуется соответствующее количество ППС (блоки 7,8);

б) $(i^*, j) \in \mu(i^*, i)$ – не единственная ветвь маршрута, для которой $\lambda(i^*, j) \neq 0$. Иначе говоря, либо существует еще хоть одна $(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i) \Rightarrow \lambda(i_k, j_k) \neq 0$ за счет работающих в (i_k, j_k) людей, либо к узлу i_k подходит ветвь древовидной структуры маршрутов, по которой тоже эвакуируется некоторое количество людей $\lambda(i_b, i_k)$, и с учетом их $\lambda'(i_k, j_k) = \lambda(i_k, j_k) + \lambda(i_b, i_k)$. В наиболее общем случае ненулевой человекоемкостью $\lambda(i_k, j_k)$ обладают $\forall (i_k, j_k) \in \mu(i^*, i)$, эргономическая характеристика $f(\tau)$ носит более сложный характер. Если $\mu(i^*, i)$ состоит из ветвей (i^*, j) , $(j, i_1), \dots, (i_b, i)$ с человекоемкостью соответственно $\lambda(i^*, j)$, $\lambda(j, i_1), \dots, \lambda(i_b, i)$, то $f(\tau)$ на каждом этапе будет равна

$$f(\tau(i^*, j)) = \lambda(i^*, j) \times \tau(i^*, j)$$

$$f(\tau(i^*, i_1)) = [\lambda(i^*, j) + \lambda(j, i_1)] \times \tau(i^*, i_1)$$

$$f(\tau(i^*, i)) = \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i)} \lambda(i_k, j_k) \times \tau(i^*, i)$$

1) если $\tau(i^*, i) < \tau_{c.c.}$ – решение может быть получено без учета ППС;

2) если $\tau(i^*, i) \geq \tau_{c.c}$ и $\sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i)} \lambda(i_k, j_k) \leq \lambda_\phi$ - ППС организуется

аналогично описанному в п. а.2);

3) если $\tau(i^*, i) \geq \tau_{c.c}$ и $\sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i)} \lambda(i_k, j_k) > \lambda_\phi$ - производится

возвращение по $\mu(i^*, i)$ к ближайшему узлу $i_k' \Rightarrow \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i_k')} \lambda(i_k, j_k) \leq \lambda_\phi$, и

ППС организуется аналогично а.3). При этом использование ППС предполагается теми людьми из $\sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i_k')} \lambda(i_k, j_k)$, для которых $\tau(i^*, i_k') > \tau_{c.c}$; в дальнейшем $f(\tau(i_k', i))$ будет рассчитываться как

$$f(\tau(i_k', i)) = \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i)} \lambda(i_k, j_k) \times \tau(i^*, i) - \sum_{(i_k, j_k) \in \mu(i^*, i_k')} \lambda(i_k, j_k) \times \tau(i^*, i_k')$$

Если $\tau(i^*, i) - \tau(i^*, i_k') < \tau_{c.c}$ – решение получено; в противном случае действия п. б.3) повторяются, и т.д.

Если на каком-то этапе (блок 7) возникает ситуация $\tau(i^*, i) \geq \tau_{c.c}$, (блок 9) – возможности создания ПСП для данного маршрута исчерпаны, и необходимо использовать существующий (или рассмотреть возможность создания нового) ПКСП в $(i_2, i_4) \Rightarrow \tau_{\mu(i_2, i_4)} \leq \tau_{c.c}$, или ближе к i_2 по маршруту (блок 10).

Перечисленными вариантами исчерпывается решение задачи размещения ППС для выбранного аварийного вентиляционного режима; в результате формируется соответствующее множество ветвей ШВС M_l . Если перейти к следующему вентиляционному режиму и повторить действия п.п. а)-б) для него, может быть сформировано множество M_2 , и т.д., до исчерпания списка возможных аварийных вентиляционных режимов. Количество ППС в ШВС будет равно $|M_1 \cup M_2 \cup \dots|$; однако выбор подлежащих эвакуации групп людей не всегда зависит от аварийного вентиляционного режима. Кроме того, эвакуация их производится зачастую по одним и тем же выработкам. Следовательно, базис ППС для каждого последующего режима будет накладываться на базис ППС для всех режимов, рассмотренных ранее. Этим будет нарушена строгость п. а п.ю 3) и п. б п.п. 3) в части избыточности базиса ППС. Поэтому для последующих режимов на этапах а3) и особенно б3) необходимо, после присоединения к маршруту каждой очередной (i_k, j_k) , проверять, не выбрана ли она уже ранее в качестве местоположения ППС. Если это так, и $|\tau_{c.c} - \tau(i^*, i_k)| < \varepsilon$, выбранного из практических соображений – этот ППС может использоваться и для рассматриваемого аварийного вентиляционного режима, и $f(\tau)$ рассчитывается для него, как было описано в п. б.3).

Таким образом, на шахтах может быть организована трехступенчатая система спасения горнорабочих. Для этого можно использовать методы формирования маршрутов эвакуации [5] или аналогичные, реализованные программными комплексами «Вентиляция шахт» или РЕВОД (г. Донецк)

(1 ступень). Организуя систему ПКСП в соответствии с [7,8,9] (3 ступень), и используя на промежуточной ступени предложенный алгоритм выбора мест расположения ППС, можно получить решение задачи аварийной эвакуации людей для всех возможных аварийных ситуаций, связанных с загазированием горных выработок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - [Дійсний від 22.03.2010]. - Офіційне видання. - Київ: Основа, 2010. - 430с. - (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
2. Методические указания по составлению планов ликвидации аварий. Москва, 1980. 45с.
3. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. Москва: Недра, 1984. 123с.
4. Ильинский Э.Г., Диденко Н.С., Козаченко В.В. Передвижные спасательные пункты для включения в резервные самоспасатели. Уголь Украины. 1976. 10. С. 43-44.
5. Потемкин В.Я., Козлов Е.А., Кокоулин И.Е. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. Киев: Техника, 1991. 125с.
6. Черепов А.А., Ерусланов А.П., Ярош А.С. [и др.]. Концепция создания пунктов коллективного спасения персонала при аварийной ситуации. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. 2015. 2. С. 6-15.
7. Система і технічні засоби саморятування гірників. Вибір типу саморятувальника і місць розташування засобів колективного захисту органів дихання в гірничих виробках. СОУ 10.1.00174102-018:2011. Чинний від 2012.01.01. Київ, 2011. 28с.
8. Система саморятування гірників. Загальні вимоги: СОУ 10.1.00174102-002-2004. Чинний від 2005-01-07. Донецьк, 2006. 24с.
9. Стационарные камеры-сховища рятувальні шахтні. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.202020852.002:2006. Чинний від 2007-15-10. Київ, 2007. 15с.
10. СНиП 2.01.54-84. Защитные сооружения в гражданской обороне в подземных горных выработках. Госстрой России. Москва, 2001. 20с.
11. Звягильский Е.Л., Булат А.Ф., Ефремов И.А. [и др.]. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования. Донецк-Днепропетровск: Норд-Компьютер, 2003. 215с.
12. Ильинский Э.Г., Солдатенков А.Г., Коган Ю.А., Мазаненко В.П. Комбинированная система самоспасения на шахтах Минуглепрома СССР. Ведение горноспасательных работ и предупреждение аварий. Донецк, 1984. С. 42-45.
13. Ильинский Э.Г. Энергетическая оценка аварийных маршрутов шахт и обоснование необходимости пунктов ПСП. Способы и средства ведения горноспасательных работ и предупреждения аварий в шахтах. Донецк, 1977. 14. С. 37-40.
14. Голик А.С., Зубарева В.А., Апальков А.С. Современные средства жизнеобеспечения подземного персонала шахт в аварийных условиях. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности: научно-технический журнал. Раздел «Пожарная и промышленная безопасность». 2015. 3. С. 61-64.

REFERENCES

1. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10 Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [NLA SL 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Osнова, Kiev, UA.
2. *Metodicheskiye ukazaniya po sostavleniyu planov likvidatsii avariyy* [Methodical instructions on compilation plans of liquidation of accidents] (1980), Moscow, SU.
3. Didenko, N.S. (1984), *Regenerativnye respiratory dlya gomospasatelnykh rabot* [Regenerative respirators for mine-rescue works], Nedra, Moscow, SU.
4. Ilyinsky, E.G., Didenko N.S. and Kozachenko, V.V. (1976), "Movable rescue points for the inclusion in reserve self-rescuers", *Coal of Ukraine*, no. 10, pp. 43-44.
5. Potemkin, V.Ya., Kozlov, Ye.A. and Kokoulin, I.Ye. (1991), *Avtomatizatsiya sostavleniya operativnoy chasti planov likvidatsii avariyy na shakhtakh i rudnikakh* [Automation of compilation of operative part of plans liquidation of accidents on collieries and mines], Tekhnika, Kiev, SU.
6. Cherepov, A.A., Yeruslanjv, A.P., Yarosh, A.S. (2015), "Conception of creation of points of collective rescue of personnel at an emergency situation", *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, No. 2, pp. 6-15.
7. Ministry of Fuel and Power Engineering of Ukraine (2011), *SOU 10.1.00174102-018:2011: Systema i tekhnichni zasoby samoryatuvannya girnykiv. Vybir typu samoryativnyka i misc roztashuvannya zasobiv kolektyvnogo zakhystu organiv dykhannya v girnychyykh vyrobkakh* [SOU 10.1.00174102-018:2011: System and hardwares of self-rescuing of miners. Choice type of self-rescuer and places of location facilities of collective defence organs of breathing in the mine working], Ministry of Fuel and Power Engineering of Ukraine, Kyiv, UA.
8. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2004), *SOU 10.1.00174102-002-2004 Systema samoryatuvannya girnykiv. Zagalni vymogy* [SOU 10.1.00174102-002-2004. System of self-rescuing of miners. Common requirements], Ministry of Coal Industry of Ukraine, Kyiv, UA.

9. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2007), *SOU 10.1.202020852.002:2006 Statsionarni kamery-skhovyshcha ryatuvalni shakhtni* [SOU 10.1.202020852.002:2006 Stationary chambers-dug-outs rescue mines. Common technical requirements], Ministry of Coal Industry of Ukraine, Kyiv, UA.

10. Gosstroy Rossii (2001), *SNiP 2.01.54-84. Zashchitnye sooruzheniya grazhdanskoy oborony v podzemnykh gornykh vyrabotkakh* [SNiP 2.01.54-84 Protective buildings in the civil defensive in the underground mine workings], Gosstroy Rossii, Moscow, SU.

11. Zvyagilsky, Ye.L., Bulat, A.F., Yefremov, I.A. (2003), *Provetrivanie I gazovyi rezhim shakhty im. A.F. Zasyadko: sostoyaniye I puti sovershenstvovaniya* [Ventilation and gas mode of mine by A.F. Zasyad'ko: state and ways of perfection], Nord-Kompyuter, Donetsk-Dnepropetrovsk, UA.

12. Ilyinskiy, E.G., Soldatenkov, A.G., Kogan, Yu.A. and Mazanenko, V.P. (1984), "Combined system of self-rescuing on the mines of Ministry of Coal Industry of USSR", *Vedeniye gornospasatelnykh rabot I preduprezhdeniye avari*y [Conduct of mine-rescue works and warning of failures], Donetsk, SU.

13. Ilyinskiy, E.G. (1977), "Power estimation of emergency routes of mines and ground of necessity of the PSP points", *Sposoby I sredstva vedeniya gornospasatelnykh rabot I preduprezhdeniya avari*y v shakhtakh, no. 14, pp. 37-40.

14. Golik, A.S., Zubareva, V.A. and Apalkov, A.S. (2015), "Modern facilities of life-support of underground personnel of mines in emergency terms", *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*, no. 3, pp. 61-64.

Об авторах

Кокоулин Иван Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, bunko2017@ukr.net

Яценко Игорь Алексеевич, кандидат технических наук, заместитель начальника управления охраны труда, промышленной безопасности, физической и гражданской защиты Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, Киев, Украина

Клименко Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГБУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, annochka@i.ua

About the authors

Kokoulin Ivan Yevgenovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Reseacher, Senior Reseacher in Department of problems of underground mines in great depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, bunko2017@ukr.net

Yashchenko Igor Oleksiyovych, Candidate of Technsical Sciences (Ph.D.), Deputy Chsef of the Department of Labour Protection, Industrial Safety, Physical and Civil Defence, Ministry of Pjwer Engineering and Coal Industry of Ykraine, Kyiv, Ukraine.

Klimenko Anna Aleksandrovna, Candidate of Technsical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Vital Activity Safety, State Higher Educational Institution «Pridneprovsk State Academy of Building and Architecture» (SHEI «PSABA»), Dnipro, Ukraine, annochka@i.ua

Анотація. Система протиаварійного захисту шахти в якості складової включає план ліквідації аварій (ПЛА), що визначає заходи і дії персоналу і воєнізованих частин рятувальників щодо порятунку людей і ліквідації аварії у найкоротші терміни. При отриманні сигналу про виникнення такої аварії гірники включаються в саморятівники і йдуть маршрутами, визначеними відповідною позицією ПЛА, у безпечні місця або на поверхню. Аварійна евакуація гірників з шахти при виникненні аварії, що викликає загазування обширних ділянок газоподібними продуктами (екзогенна пожежа, вибух метану та ін.) є складним процесом. Правилами безпеки регламентується при її виникненні включення всього персоналу у саморятівники і вихід на поверхню, максимально минувши загазовані ділянки. Проте, у зв'язку зі складністю вентиляційної системи шахти і великою протяжністю гірських виробок, таке рішення можливе не завжди. Можливе виникнення ситуації, коли термін захисної дії саморятівника закінчується на маршруті, і необхідне вживання додаткових заходів. Необхідно організувати пункт переключення гірників у резервні саморятівники (ППС). Якщо ж і такої міри виявиться недостатньо – робітників необхідно спрямувати до стаціонарного пункту колективного порятунку (ПКСП), де вони можуть дочекатися прибуття рятувальників. Таким чином, в загальному випадку на шахті повинна бути організована система колективного порятунку гірників, що включає використання саморятівників, ППС і ПКСП. Якщо розташування останніх закладається в проект розвитку або реконструкції шахти, то місця розташування ППС прив'язані до конкретної аварійної ситуації. Вперше запропоновано метод їх вибору для всіх варіантів виникнення аварій у шахті з урахуванням людиноємності аварійних і загрозливих ділянок і аварійного вентиляційного режиму. Реалізація його сприятиме підвищенню ефективності аварійної евакуації і безпеки праці гірників.

Ключові слова: екзогенна пожежа, аварійна евакуація, саморятівник, пункти перемикавання, пункти колективного порятунку.

Annotation. System of against-accident defence of mine in quality of component includes the plan of liquidation of emergencies (PLE), determining measures and actions of personnel and militarized mine-rescue parts on the rescue of people and liquidations of emergence in the earliest possible date. At the receipt of signal about the origin of such emergence miners are included in self-rescuers and followed on routes certain by the proper position of PLE, in safe places or on a surface. Emergency evacuation of miners from a mine in case of occurring of femergency causing gassy vast areas by gaseous products (exogenous fire, explosion of methane and etc) is a difficult process. The Rules of safety regulate in case of its occurring the inclusion of all personnel in self-rescuers and wedging out, maximally passing gas-laden areas. However, in connection with complication of the ventilation system of mine and large extent of the mine workings, such decision is possible not always. The origin of situation is possible, when the term of protective action of self-rescuer outflows on a route, and acceptance of additional measures is needed. It is necessary to organize the point of switching miners in reserve self-rescuers (PPS). If and unenough such measure will appear - workiers must be sent to the stationary point of collective rescue (PKSP), where they can wait rescuers. Thus, in general case on a mine the system of collective rescue of miners, including the use of self-rescuers, PPS and PKSP, must be organized. If the location of the PKSP put into the project of development or reconstruction of mine, the places of the PPS location are tied to the concrete emergency situation. The method of their choice for all variants of origin of emergency is first offered in a mine taking into account man-capacity of emergency and threatened areas and emergency ventilation regime. Realization of him will be instrumental in the increase efficiency of emergency evacuation and safety of labour of miners.

Keywords: exogenous fire, emergency evacuation, self-rescuer, points of switching, points of collective rescue.

Стаття надійшла до редакції 26.04. 2018.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Т.В. Бунько.