

[622.451:681.518.5:004.9].001.25

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,

Бунько Т.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,

Кокоулин И.Е., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

(ИГТМ НАН Украины),

Ященко И.А., канд. техн. наук

(Минэнергоуголь Украины),

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

(ИГТМ НАН Украины),

Жалилов А.Ш., магистр

(ГП «Селидовуголь»)

О ЕДИНОЙ КОНЦЕПЦИИ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Булат А.Ф., акад. НАНУ, д-р техн. наук, професор,

Бунько Т.В., д-р техн. наук, ст. науч. співр.,

Кокоулін І.Є., канд. техн. наук, ст. науч. співр.

(ИГТМ НАН України),

Ященко І.О., канд. техн. наук

(Міненерговугілля України),

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. співр.

(ИГТМ НАН України),

Жалілов О.Ш., магістр

(ДП «Селідоввугілля»)

ПРО ЄДИНУ КОНЦЕПЦІЮ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Bulat A.F., Acad. NASU, D.Sc. (Tech.),

Bunko T.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,

Kokoulin I.Ye., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher

(IGTM NAS of Ukraine),

Yashchenko I.A., Ph.D. (Tech.)

(Minenergougol of Ukraine),

Shevchenko V.G., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher

(IGTM NAS of Ukraine),

Zhalilov A.Sh., M.S. (Tech.)

(SP «Selidovugol»)

ABOUT THE UNITED CONCEPTION OF TECHNOGEN SAFETY OF COAL MINES

Аннотация. Уточнены понятия «концепция», «авария», «аварийная ситуация», «безопасность» применительно к условиям угледобывающей промышленности. Охарактеризованы две концепции техногенной безопасности: детерминистская концепция абсолютной безопасности и вероятностная концепция приемлемого риска.

Показано, что в исследовании безопасности угледобывающего производства эффективным является комплексирование требований двух указанных концепций. Отмечено, что предлагаемый показатель безопасности – риск жизни человека – не является достаточным, и более правильно использовать показатель жизнедеятельности человека в аварийных ситуациях. Сложностью реализации обеих концепций являются неполнота и недостоверность исходных данных, неадекватность модели реальному протеканию аварийной ситуации, неопределенность и непредсказуемость перехода системы в аварийное состояние, необходимость учета и оценки человеческого фактора. Охарактеризованы границы перехода от аварийной ситуации к аварии и наоборот, даны рекомендации по уменьшению области неисправимых состояний шахтной вентиляционной системы. В основу концепции техногенной безопасности должна быть положена оптимизация шахтной вентиляции (при необходимости – совместно с дегазацией) и системы противоаварийной защиты с использованием информационно-аналитических технологий контроля и управления состоянием шахты в нормальных и аварийных условиях, основанных на синтезе математического, имитационного, ситуационного и экспертного моделирования сложных технологических систем.

Ключевые слова: безопасность, детерминистская и вероятностная концепции безопасности, аварийная ситуация, жизнедеятельность, неопределенность, моделирование.

В последнее время в отечественной и зарубежной прессе появляются публикации, которые с различных точек зрения рассматривают организацию безопасного функционирования горного производства. И практически во всех фигурирует слово «концепция», не всегда правильно понимаемое авторами.

В «Толковом словаре украинского языка» (dicipedia.cjm/dic-uk-uk-expl-term-77280.htm), «Найповнішому тлумачному словнику української мови» (eslovník.com) та «Академічному тлумачному словнику (1970-1980) в 11 тт.», 1973, т. 4, стор. 275: «Система доказів певного положення, система поглядів на те чи інше явище; спосіб розуміння, тлумачення якихось явищ»;

Наиболее широкое, обобщенное толкование понятия «концепция» - в издании «Украинский язык. Современный толковый словарь» (enc-dic.com/Энциклопедии/Ukrainiski-jazyk-57421.html): «Концепция (от лат. *Conceptio* – Понимание, система) – определенный способ понимания, трактовки каких-либо явлений, основная точка зрения, руководящая идея для их освещения; ведущий замысел, конструктивный принцип различных видов деятельности».

Несмотря на некоторые различия, такие определения предполагают наличие субъекта, по отношению к которому рассматривается указанное понимание. В нашем случае это – техногенная безопасность горного производства.

Если не рассматривать мелкие различия трактовок упомянутых словарей, общим является следующее определение: «Безопасность – это предупреждение опасности, условия, при которых не угрожает опасность».

Сразу возникает вопрос: опасность (в рассматриваемом случае – угроза жизни и здоровью людей) – это выход из строя технических средств или нарушение технологического процесса угледобычи (аварийная ситуация)? Оба этих термина требуют фразеологического пояснения. Под аварией, например, в словаре eslovník.com, понимается: «Пошкодження, вихід з ладу, руйнування, що сталося з техногенних (виробничих, технологічних, експлуатаційних) або природних причин». В нашем случае – выход из строя элемента технологического

оборудования горнодобывающего предприятия.

Понятия «аварийная ситуация» нет в современных толковых словарях. Наиболее близко к нему понятие «катастрофа»: «Неожиданное несчастье, бедствие, событие, влекущее за собой трагические последствия», или, что тоже, «Крупное потрясение трагического характера, обуславливающее собой резкий перелом в ... жизни».

Анализ условий угледобычи показывает, что оба этих определения применимы к выходу процесса угледобычи из нормального режима функционирования. Первое относится к поломке технологического оборудования, и для своей ликвидации требует чисто технических приемов: устранения неисправности и возвращения технологического элемента к нормальным условиям эксплуатации. Такая авария не приводит к нарушению технологического процесса шахты и привлечения для ее устранения дополнительных средств и персонала (в нашем случае – военизированных горноспасательных отрядов (ВГСО), пожарных команд и т.д.), и тем более – не угрожает жизни и здоровью людей, работающих непосредственно с аварийным или совместно с ним работающими элементами.

Второе определение более сложно. Оно уже непосредственно относится к проблемам техногенной безопасности, и включает технический, экономический, юридический и нравственный аспект. Технический – нарушение, в некоторых случаях, нормальной работы шахты. Экономический – значительный, по сравнению с обычными авариями, экономический ущерб. Юридический – необходимость разработки и использования для ликвидации аварийных ситуаций правовых и нормативно-методических документов и инструкций. Нравственный – необходимость принятия мер, которые могут повредить жизни и здоровью людей, пусть в минимальной степени.

В решении проблемы техногенной безопасности главенствующее положение занимают две концепции: детерминистская концепция абсолютной безопасности и вероятностная концепция – концепция приемлемого риска. Они не могут быть жестко разграничены: абсолютная безопасность является вообще понятием искусственным, недостижимым в реальных условиях, поскольку система «человек – производство» не может быть абсолютно безопасной по объективным и субъективным условиям. Речь может идти лишь о моделировании развития поражающих факторов аварийной ситуации (в более крупных размерах – техногенной катастрофы) и выработке системы мер (в первую очередь противоаварийной защиты (СПАЗ), а также технологических средств, инструкций, обучения персонала и т.д.), направленных на уменьшение возможных потерь. Одним из главных направлений СПАЗ является система мер по пожарной безопасности. В этом вопросе обе концепции пересекаются: в первой целью является стремление к достижению абсолютной безопасности (глобальному экстремуму A_2 , что, как уже отмечалось, может быть реализовано лишь чисто теоретически) путем минимизации определенных функционалов, характеризующих уровень безопасности при возникновении аварийной ситуации, т.е. достижения локального экстремума A_1 . Уровень безопасности горного производства

определяется значение $\Delta A = |A_2 - A_1|$ (абсолютное значение ΔA принимается из соображений минимизации или максимизации критерия безопасности). Правда, ряд специалистов отрицают такой подход к достижению абсолютной безопасности, исходя из того, что само понятие абсолюта исключает возможность количественных оценок.

Суть второй концепции составляют: количественная оценка степени опасности (риска) жизни человека (очевидно, о достижении A_2 речь идти не может), применение имитационного моделирования для выявления возможных путей возникновения аварийных ситуаций или перехода нештатных ситуаций в аварийные, характеризующиеся наличием поражающих факторов (т.е. ситуации, требующие привлечения дополнительного персонала, сил и средств; в условиях горного производства – ввода в действие на начальном этапе развития аварийной ситуации плана ликвидации аварий (ПЛА)), установление реального уровня риска, т.е. A_1 , и определение $\Delta A_p = |A_p - A_1|$, где A_p – приемлемый уровень риска.

Отношение в производственной сфере к этим двум концепциям различное [1,2,3], однако намечается предпочтение вероятностного подхода.

Меры обеспечения безопасности в рамках первой концепции устанавливаются как обязательные, подкрепляются нормативными документами и потому сравнительно легко контролируются. Этим гарантируется некоторый уровень безопасности, имеющий для технолога юридическую силу. Собственно, это и есть в первом приближении приемлемый риск; в реальных условиях на любых объектах происходят технологические изменения, влияние которых на безопасность без количественного анализа трудно оценить. Просто в составе второй концепции приемлемый риск не является юридически регламентированной величиной, а оценивается применительно к условиям функционирования конкретного объекта и возможным проявлениям факторов техногенной аварийности.

Вторая, вероятностная, концепция, получающая все большее развитие в настоящее время, опирается на количественные критерии безопасности. Однако анализ условий ее использования при возникновении аварийных ситуаций в угольных шахтах, требующих использования методов и технических средств СПАЗ, выявил ряд особенностей, не учитываемых в настоящее время и присущих нашему объекту исследований. К их числу относятся следующие.

1. Основным показателем безопасности является риск жизни человека, понимаемый как вероятность гибели человека на заданном отрезке времени от катастрофических факторов. Риск такого вида принято называть техногенным. Это – не совсем верный и далеко не исчерпывающий критерий. Гибель человека – явление чрезвычайное, и вероятность его даже в сложных аварийных ситуациях, вследствие достаточно высокой эффективности принимаемых СПАЗ мер, невелика. Более важными элементами критерия безопасности являются травмирование людей в аварийной ситуации, угроза их здоровью вследствие длительного нахождения в аварийной зоне и подверженности действию поражающих факторов аварийной ситуации, и т.д. Эти факторы легче характеризу-

ются численно, поэтому правильнее говорить о степени жизнеспособности человека в аварийной ситуации. Так и поступают составители ПЛА: внимание следует обращать не на образование безвыходных для человека ситуаций, а на обеспечение максимально безопасных и в кратчайшие сроки условий реализации мероприятий по спасению людей с учетом эргономических факторов. Работы в этом направлении ведутся много лет, накоплен значительный опыт решения задач обеспечения жизнедеятельности человека в аварийных ситуациях, для чего используется оптимизация критериев безопасности численными методами (пример такой оптимизации приведен в [6]).

2. В настоящее время в теории вероятностных процессов, связанных с техногенной аварийностью, существует и используется опыт теории надежности объектов технической природы [4,8]. Однако использование его в теории рисков, связанных с действием человеческого фактора, неправомерно. Человек – не машина, действия его не определяются жестким алгоритмом и технической документацией. Теория надежности объектов технической природы рассматривает реакцию системы на аварии, когда выходит из строя машина, и дело человека – ее исправить, а не аварийные ситуации, когда действующим элементом системы является сам человек, действия которого подчиняются не только законам формальной логики.

3. Обе концепции безопасности не свободны от сложностей реализации, связанных с использованием методов имитационного моделирования. Это – возможная неполнота и недостоверность исходных данных, адекватность модели реальному процессу протекания аварийной ситуации и использования средств СПАЗ, неопределенность и непредсказуемость момента перехода системы в аварийное состояние. И, что наиболее важно, - действие человеческого фактора на всех этапах протекания аварийной ситуации.

4. Следует уточнить, с учетом высказанных соображений, понятие безопасности. Определение безопасности («Отсутствие опасности, предупреждение опасности, условия, при которых не угрожает опасность»; eslovník.com: «Стан, коли кому-, чому-небудь ніщо не загрожує») является хоть и правильным, но слишком общим. Более приемлемо определение [5]: «Безопасность – это свойство объекта, определяемое характером и размером последствий изменения состояний работоспособности объекта, ошибками человека-оператора, накоплениями отклонений от номинальных режимов функционирования».

В то же время определение «Техніка безпеки – технічні умови і засоби, які усувають небезпеку, запобігають небезпеці» предполагает, что абсолютной безопасности не существует, и нужно лишь стремиться минимизировать уровень возможной опасности.

Таким образом, уровень промышленной безопасности на всех этапах протекания и ликвидации аварийной ситуации в первую очередь зависит от человеческого фактора. От него зависит время реализации противоаварийных мер и вероятность их правильности. Вопросы эти, для случаев возникновения аварийной ситуации типа экзогенного пожара, подробно рассмотрены, например, в [6]. Если время обнаружения пожара с использованием технических средств

легко предсказуемо и рассчитывается (разумеется, при безотказности системы обнаружения), то реакция человека на поступление сигнала об этом не поддается численной оценке, и можно говорить только о доверительном интервале такой реакции. Аналогично обстоит дело с аварийным оповещением. Если даже горный диспетчер оперативно отреагирует на сигнал о возникновении аварии и сработает система оповещения – это еще не значит, что получившие сигнал работающие в шахте люди среагируют на него мгновенно и правильно. А значит – время аварийной эвакуации также является нечетко определенным фактором. Такие примеры могут быть приведены для всех этапов протекания и ликвидации аварийных ситуаций, причем вероятности отказов элементов системы «СПАЗ - человек» накапливаются по мере реализации мероприятий СПАЗ.

5. В условиях угледобывающего предприятия в неизменном виде неприменимы не только оба рассмотренных подхода, но даже принцип их комплексирования. Причина – две важных проблемы анализа безопасности, ответ на которые не дают обе концепции. Первая – неопределенность исходных событий для объектов сложной структуры (такое определение идеально подходит под СПАЗ шахтной вентиляционной системы (ШВС), размерность которой давно превзошла 1000 элементов с набором параметров, каждый из которых сам по себе не определен). Вторая – неопределенность в оценке достаточности принятых мер безопасности. Вопрос ставится следующим образом: средства СПАЗ, пусть и несовершенными методами, выбраны и реализованы; в достаточной ли мере они в состоянии быть реализованы в ходе ликвидации аварийной ситуации?

Наиболее простым и понятным в реализации может быть следующее представление состояний системы.

1. Область исправимых состояний. К объектам этой области относятся аварии, совпадающие (или граничащие по своему масштабу) с техногенными аварийными ситуациями. Ситуация не критична, ликвидация ее возможна без привлечения СПАЗ; однако повторение ее чревато непредсказуемыми последствиями – переходом к аварийной ситуации.

2. Область работоспособных состояний с различным объемом неисправностей. В эту область включаются ситуации, уже аварийные, но с перспективой возвращения в область 1 с ликвидацией их имеющимися средствами без привлечения СПАЗ. Эта область – наиболее спорна, и зависит, прежде всего, от человеческого фактора: чем скорее человек-технолог среагирует на возникновение аварийной ситуации, тем скорее она выйдет в категорию 1. В пределах ее не требуется принятия общешахтных противоаварийных мер, хотя в существующих ПЛА, с целью обеспечения безопасности ведения горноспасательных работ и безопасной эвакуации работающих из зоны предполагаемого действия поражающих факторов аварийной ситуации, предполагается принятие мер, как в третьем состоянии системы.

3. Область неработоспособных состояний – это уже, собственно, область принятия противоаварийных мер. Возникшая аварийная ситуация – объективная реальность, и необходима в полной мере реализация мероприятий СПАЗ.

В смежных областях промышленности приняты понятия проектной аварии и

запроектных аварий. В угольной промышленности они не применяются; проектные аварии – это аварии второй области, избежать которых невозможно (система «человек – технологический процесс» не безотказна), запроектные – аварийные ситуации третьей области. Статистика аварий в сопредельных областях электро- и теплоэнергетики показывает, что переход из второй в третью область возможен именно при многократном повторении отказов второй области. Для угледобывающей отрасли это неприемлемо: если возникла пожароопасная ситуация в отдельном участке ШВС, и она ликвидируется средствами, исключающими использование средств СПАЗ, - повторное возникновение аварийной ситуации исключается; очередная аварийная ситуация – новое явление в необходимости применения средств СПАЗ.

Можно сделать вывод о том, что для первой категории аварийных ситуаций возможно построить автоматическую защиту (в горной промышленности это, до получения сведений об эффективности такой защиты, запрещено требованиями [7]); на ряде горных предприятий используются только системы контроля возникновения таких аварий (например, УТАС на шахте им. А.Ф. Засядько и ряде других шахт отрасли) с передачей функций управления специалистам-технологам, а для второй, и тем более третьей, категории остается полагаться на способности человека-оператора, его профессиональную подготовку и качество рабочего места.

Из вышесказанного можно сделать вывод: в настоящее время угольная промышленность не готова к однозначному применению одной из концепций техногенной безопасности. Детерминистской – поскольку стопроцентной вероятности не возникновения аварийной ситуации нет, и можно положиться лишь на опыт технолога, реализующего данную концепцию, и требования нормативных документов, учитывающие реальную аварийную ситуацию весьма приближенно. Концепции приемлемого риска – поскольку уровень приемлемого риска является величиной, зависимой от особенностей конкретного технологического объекта. Критериев оценки его величины много, но определение универсального не представляется возможным: слишком много факторов определяют его значение, как количественных (в свою очередь в условиях неопределенности), так и качественных (взаимодействие элементов системы «человек – техногенное окружение»). Разумеется, СПАЗ шахт существуют и функционируют, но достаточность принимаемых мер обеспечения безопасности в рамках концепции абсолютной безопасности (как оно и происходит в настоящее время на большинстве предприятий угольной отрасли) может быть оценена только практикой.

Неопределенность в оценке исходных событий аварийных ситуаций не может быть преодолена даже в рамках концепции приемлемого риска, поэтому, до достижения приемлемого консенсуса, следует комплексировать обе концепции, рассматривая концепцию абсолютной безопасности как гарантию некоторого минимального уровня мер защиты. Оценку достаточности таких мер, особенно для объектов с новой технологией (что, в условиях закрытия устаревших шахт и технического перевооружения прогрессивных, представляет собой отдельную

и довольно сложную задачу), а также сравнение альтернативных систем защиты следует производить, опираясь на оценки риска жизнедеятельности людей. Разработка таких оценок – первоочередная задача горной науки. Поэтому большое значение имеет соответствующее нормативное обеспечение. Регулярно пересматриваемые «Правила безопасности...» (последняя редакция – [7]) не в полной мере отражают особенности СПАЗ, поэтому концепция СПАЗ угольных шахт, по нашему мнению, должна включать следующие моменты, конкретизирующие требования двух охарактеризованных выше концепций обеспечения техногенной безопасности (в основном охарактеризованные в [9]).

Задача обеспечения безопасности горного производства многопланова, различные ее аспекты рассматриваются при осуществлении всех основных и вспомогательных технологических процессов шахты. Соответственно и концепция безопасности распадается на ряд взаимозависимых, но решаемых в отдельной постановке, задач ПЛА и возможностей имеющейся на шахтах СПАЗ.

Основными аварийными ситуациями в шахте являются («Инструкция по составлению ПЛА», [8]):

- 1) пожар в надшахтном здании;
- 2) пожар в стволе;
- 3) пожар в остальных горных выработках;
- 4) взрыв метана и (или) угольной пыли;
- 5) внезапный выброс угля, породы и газа;
- 6) остановка ВГП или длительное отключение электроэнергии;
- 7) прорыв пульпы и воды;
- 8) обрушение или горный удар;
- 9) застревание или обрыв клетки в стволе.

Другие аварийные ситуации носят более частный характер (пожар в тупиковых выработках, выход из строя магистрального конвейера и др.), и, принимаемые для их ликвидации меры не отличаются от мер по ликвидации аварийных ситуаций для их основных типов.

Концепции безопасности при возникновении различных типов аварий будут, естественно, отличаться; соответственно будут различными и мероприятия оперативной части ПЛА и действия персонала шахты и ВГСС в дальнейшем.

Однако наиболее общим является фрагмент всех концепций (кроме, разве что, аварийной ситуации типа 7), связанный с использованием мер вентиляционного воздействия на протекание и ликвидацию аварийных ситуаций [8,10]. Поэтому ему и уделяется особое внимание при решении вопросов повышения безопасности горного производства, создания и использования мероприятий и технических средств СПАЗ.

Механизм обеспечения безопасности средствами вентиляционного воздействия предусматривает следующие процедуры [9]:

- определение объекта, предмета и субъекта рисков (в нашем случае это – работа горнорабочих в условиях нарушения правил аэрологической безопасности и эффективность организации их аварийной эвакуации);
- разработка оптимальных мер по снижению рисков, идентификация причин

и условий их возникновения; в условиях угольной шахты это – формирование маршрутов эвакуации таким образом, чтобы достичь максимально эффективного значения оперативного времени ПЛА с минимальными эргономическими показателями эвакуации;

- формулирование стратегии и тактики применения мер безопасности, расчет оптимальных сил и средств, обеспечивающих реализацию данных мер; в условиях угольной шахты – время обнаружения пожара в кратчайшее время минимальным количеством средств обнаружения;

- организация мер по сбору, оценке и анализу информации в условиях информационной неопределенности;

- определение полномочий и ответственности, распределение компетенций и определение обязанностей работников, принимающих участие в мероприятиях по безопасности; таковыми в нашем случае являются мероприятия ПЛА и СПАЗ.

Существует нормативный документ (план предупреждения аварий (ППА)) [11,12], призванный, по сути своей, что следует уже из его названия, реализовать детерминистскую концепцию безопасности. Однако это проблематично в условиях информационной неопределенности, стопроцентных отклонений проектных решений от результатов их реальной реализации; поэтому более перспективным направлением повышения уровня промышленной безопасности является разработка численных методов управления и контроля с использованием информационно-аналитических технологий (ИАТ) [15]. Отдельные фрагменты этого направления реализации концепции безопасности (разумеется, в рамках концепции приемлемого риска), приведены в [9,13,14]. Вкратце изложенные идеи выглядят следующим образом.

Практически все работы в рамках СПАЗ выполнялись до 70-х годов прошлого столетия вручную, без использования ЭВМ; теоретические исследования велись методами математического моделирования. С появлением более мощных ПЭВМ на смену традиционным методам пришли методы имитационного моделирования. Однако отсутствуют достаточно общие критерии оптимизации мероприятий СПАЗ и ПЛА и регламентирующие их использование нормативные документы.

Методы имитационного моделирования базируются на необходимости использования достаточно полной информации об объекте, которую в ряде случаев получить трудно. Поэтому необходима разработка методов максимального сокращения объемов информации, использование которой не снизит, или снизит незначительно, точность получаемых решений. Такие методы уже существуют (например, [14]). На очереди разработка еще более сложного вида моделирования – ситуационного; к сожалению, в горном деле, по крайней мере, в СПАЗ, оно пока не используется достаточно полно.

Ставится вопрос: как быть, если для решения всего круга ставящихся задач корректных методов просто нет? На помощь придет экспертное моделирование, в рамках которого расчетными работами будет руководить коллектив специалистов-экспертов. В дальнейшем, по мере накопления опыта и создания доста-

точно универсальных баз данных СПАЗ можно будет говорить о создании соответствующей экспертной системы.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что перспективными направлениями совершенствования безопасности угольных шахт являются:

а) использование ИАТ, основанных на синтезе математического, имитационного, ситуационного и экспертного моделирования;

б) применение ИАТ позволит (перспективы приводятся выборочно):

1) при определении безопасного расстояния при взрывах метановоздушных смесей учесть возможность перераспределения воздушных ударных волн оптимизацией мест установки и аэродинамических сопротивлений различных взрывозащитных сооружений в выработках, примыкающих к опасным и угрожаемым участкам;

2) проводить расчеты аэродинамических параметров вентиляционных процессов в ШВС при реверсировании ВГП с использованием динамических многополюсников, совместной работе вентиляционных и подземных дегазационных установок и ВМП, при управлении аварийными вентиляционными режимами, в том числе при возникновении и распространении пожара;

3) управлять скоростью распространения пожара и направлением газообразных продуктов горения в ШВС при возникновении и развитии пожара;

4) изучить влияние выработанных пространств на аэрогазодинамические процессы в нормальных и аварийных режимах функционирования реконфигурируемых шахтных вентиляционных систем в разное время года;

5) установить закономерности тепломассообмена при переносе газовых примесей в шахтной атмосфере, обусловленных аварийными режимами вентиляции;

6) применить сети Петри для моделирования движения потоков эвакуируемых горнорабочих при выборе эргономичных маршрутов, что позволит повысить эффективность практической реализации ПЛА и мероприятий СПАЗ в условиях информационной неопределенности;

7) оценить готовность руководителей участков работ угольных шахт к предупреждению аварийных ситуаций [16].

Перечень этот может быть продолжен по мере получения эффективных решений сформулированных задач. Это потребует широкого обсуждения специалистами угледобывающей отрасли.

Реализация изложенной концепции позволит более эффективно проектировать новые и использовать существующие системы безопасности горных предприятий, получить социальный (а возможно – и экономический) эффект, заключающийся в повышении безопасности и комфортности труда работников угольной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махутов, Н.А. Современное состояние проблем безопасности в промышленно развитых странах / Н.А. Махутов, В.П. Петров [и др.] // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - М.: ВИНТИ, 1994. – Вып. 4. – с. 2-36.

2. Кузьмин, И.И. Концепция безопасности: от риска нулевого – к приемлемому. / И.И. Кузьмин,

Д.А. Шапошников // Вестн. РАН.- 1994. – Т. 64. - № 2.5. – С. 402-408.

3. Андриенко, А.Я. Формирование риска при обеспечении безопасности сложных технических систем / А.Я. Андриенко, Ю.П. Портнов-Соколов // Приборы и системы управления. – 1996. - № 12. – С. 11-14.

4. Хенли, Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 453 с.

5. Теория управления, терминология. Сборник рекомендуемых терминов. – М.: Наука, 1988.- Вып. 107. – 23 с.

6. Потемкин, В.Я. Автоматизация составления оперативной части планов ликвидации аварий на шахтах и рудниках. / В.Я. Потемкин, Е.А. Козлов, И.Е. Кокоулин. – К.: Техника, 1991. – 124 с.

7. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безпеки у вугільних шахтах: Затв. Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. – Київ: 2010 – 2154. (Нормативний документ Мінвуглепромку України).

8. Рябинин, И.А. Концепция логико-вероятностной теории безопасности. / И.А. Рябинин // Приборы и системы управления. – 1993. - № 10. – С. 17-21.

9. Состояние техники безопасности и эффективности функционирования противоаварийной защиты угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Фичев, И.А. Яценко [и др.]- Днепропетровск, 2005. – 266 с.

10. Смоланов, С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия / С.Н. Смоланов. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 272 с.

11. Положення зі складання планів попередження аварій: Галузевий нормативно-методичний документ / Б. Грядущий, Є. Дубов, Є. Мухін [та ін.]- Донецьк: ДП «ДонВУГІ», 2009.- 22с.

12. Шевченко, В.Г. К разработке плана предупреждения аварий на урановых шахтах / В.Г. Шевченко, Ю.И. Кияшко, П.Е. Мухин // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск, 2012.- Вып. 101. – с. 216-223.

13. Проветривание и газовый режим шахты им. А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования / Е.Л. Звягильский, А.Ф. Булат, И.А. Ефремов [и др.]. – Донецк-Днепропетровск, 2002. – 197 с.

14. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт/ А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2005. – 216 с.

15. Булат, А.Ф. Методология поиска рациональных параметров шахтной вентиляционной системы в условиях неопределенности / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск, 2005.- Вып. 57. – с. 3-8.

16. О необходимости профессиональных тренингов по безопасности труда / В.Г. Шевченко, И.А. Яценко, П.Е. Мухин [и др.] // Уголь Украины.- 2011.- № 6.- С. 33-35.

REFERENCES

1. Makhutov, N.A., Petrov V.P. [and others] (1994), “Contemporary state of problems of safety in the industrially developed countries”, *Problems of safety at extraordinary situations*, no. 4, pp. 2-36.

2. Kuzmin, I.I. and Shaposhnikov, D.A. (1994), “Conception of safety: from the risk zero – to acceptable”, *Vestnik RAS*, Vol. 64, no. № 2.5, pp. 402-408.

3. Andriyenko, A.Ya. and Portnov-Sokolov, Yu.P. (1996), “Formation of risk at providing of safety of the compound technical systems”, *Devices and control systems*, no. 12, pp. 11-14.

4. Khenly, E. Dzh. and Kumamoto, X. (1984), *Nadezhnost tekhnicheskikh system i otsenka riska* [Reliability of the technical systems and risk estimation], Mashynostroenie, Moscow, SU.

5. *Teoriya upravleniya, terminologiya. Sbornik rekomenduyemskh terminov* [Management theory, terminology. Collection of the recommended terms] (1988), Vol. 107, Science, Moscow, SU.

6. Potemkin, V.Ya., Kozlov, Ye.A. and Kokoulin, I.Ye. (1991), *Avtomatizatsiya sostavleniya operativnoy chasti planov likvidatsii avariiv shakht i rudnikov* [Automation of draftings of operative part of plans of liquidation of accidents on mines and pits], Technika, Kiev, SU.

7. National committee of Ukraine from the industrial safety, protection of labour and mine supervision (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10: Pravyla bezpeky u vugilnikh shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10: Rules of safety in coal mines], Kiev, UA

8. Ryabinin, I.A.(1993), “Conception of logic-probabilistic theory of safety”, *Devices and control systems*, no. 10, pp. 17-21.

9. Bulat, A.F., Fichev, V.V., Yaschenko, I.A. [and others] (2005), *Sostoyaniye tekhniki bezopasnosti i effektivnosti funktsionirovaniya protivoavariynoy zashchity ugolnykh shakht* [State of accident and efficiency of functioning of against-accident defense of coal mines prevention], Dnepropetrovsk, UA.

10. Smolanov, S.N. (2002), *Likvidaciya slozhnykh podzemnykh avariy metodami ventilyatsionnogo vozdeystviya* [Liquidation of compound underground accidents by the methods of ventilation influence], Science and education, Dnepropetrovsk, UA.

11. Gryadushchiy, B., Dubov, Ye., Mukhin, Ye., Mukhin, P., Mishchenko, I., Bryukhanov, A., Koptikov, V., Berezhinskiy, V., Ageev, V., Pashkovskiy, P., Lebedev, V., Maleev, M., Zakharov, Ye., Sinenko, V., Krasik, Ya. and Vinarik, A. (2009), *Polozhennya zi skladannya planiv poperedzhennya avariy: Galuzeviy normativno-metodichnyu document* [Position from drafting of plans of warning of failures: Of particular a branch normatively-methodical document], DP «Donugi», Donetsk, UA.

12. Shevchenko, V. G., Kiyashko, Yu.I. and Mukhin, P.Ye. (2012), “To development of plan of warning of accidents on uranium mines”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 101, pp. 216-223.

13. Zvyagilsky, Ye. L., Bulat, A.F., Yefremov, I.A. [and others] (2002), *Provetrivaniye i gazovy rezhim shakhty im. A.F. Zasyadko :sostoyaniye i puti sovershenstvovaniya* [Ventilation and gas mode of mine by him. A.Ф. Zasyad'ko: state and ways of perfection], Donetsk-Dnepropetrovsk, UA.

14. Bulat, A.F., Zvyagilsky, Ye. L., Boki, B.V. [and others] (2005), *Sovershenstvovaniye ventilyatsii i degazatsii ugolnykh shakht* [Perfection of ventilation and degassing of coal mines], Dnepropetrovsk, UA.

15. Bulat, A.F., Bunko, T.V. and Kokoulin, I.Ye.. (2005), “Methodology search of rational parameters of the mine ventilation systems in the conditions of vagueness”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 57, pp. 3-8.

16. Shevchenko, V.G., Yashchenko, I.A., Mukhin, P.Ye. [and others] (2011), “About the necessity of the professional trainings on safety of labour”, *Coal of Ukraine*, no. 6, pp. 33-35.

Об авторах

Буллат Анатолий Федорович, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtmanu@yandex.ru.

Бунько Татьяна Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, 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), Днепропетровск, Украина, bunko2007@mail.ru.

Кокouлин Иван Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, 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), Днепропетровск, Украина, bunko2007@mail.ru.

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

Шевченко Владимир Григорьевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Жалилов Александр Шамильевич, инженер, главный механик, ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина, alnat01@mail.ru.

About the authors

Bulat Anatoly Fedorovich, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Director of the Institute, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmanu@yandex.ru.

Bunko Tanyana Viktorovna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bunko2007@mail.ru.

Kokoulin Ivan Yevgenyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, bunko2007@mail.ru.

Yashchenko Igor Alekseevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), deputy of chief of management of labor industrial safety, physical and civil defense, Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, Dne-

propetrovsk, Ukraine.

Shevchenko Vladimir Georgiyevich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Scientific Secretary, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Zhalilov Alexandr Shamilyevich, Master of Science, Chief mechanical engineer of the state enterprise «Selidovugol», Selidovo, Ukraine, alnat01@mail.ru.

Анотація. Уточнено поняття «концепція», «аварія», «аварійна ситуація», «безпека» стосовно умов вугледобувної промисловості. Охарактеризовано дві концепції техногенної безпеки: детерміністська концепція абсолютної безпеки і концепція вірогідності прийнятної ризику. Показано, що в дослідженні безпеки вугледобувного виробництва ефективним є комплексування вимог двох вказаних концепцій. Відзначено, що запропонований показник безпеки – ризик життя людини – не є достатнім, і правильніше використовувати показник життєдіяльності людини в аварійних ситуаціях. Складністю реалізації обох концепцій є неповнота і невірогідність початкових даних, неадекватність моделі реальному протіканню аварійної ситуації, невизначеність і непередбачуваність переходу системи в аварійний стан, необхідність врахування і оцінки людського чинника. Охарактеризовані межі переходу від аварії до аварійної ситуації і навпаки, дано рекомендації щодо зменшення області непоправних станів шахтної вентиляційної системи. В основу концепції техногенної безпеки повинна бути закладена оптимізація шахтної вентиляції (при необхідності – сумісно з дегазацією) і системи протиаварійного захисту з використанням інформаційно-аналітичних технологій контролю і управління станом шахти в нормальних та аварійних умовах, заснованих на синтезі математичного, імітаційного, ситуаційного і експертного моделювання складних технологічних систем.

Ключові слова: безпека, детерміністська і вірогіднісна концепції безпеки, аварійна ситуація, життєдіяльність, невизначеність, моделювання.

Abstract. Determinations of the concepts «conception», «failure», «emergency situation», «safety», as it applies to the terms of coal-mining industry are specified. Two conceptions of technogen safety are described: determinist conception of absolute safety and probabilistic conception of acceptable risk. It is shown that in research of safety of production coal mining most effective is complexing requirements of two indicated conceptions. It is marked that the offered index of safety - the risk of life of man – is not sufficient, and it is more correct to use the index of vital functions of man in emergency situations. By complication of realization both concepts there are incompleteness and unauthenticity of basic datas, model inadequacy to the real flowline of emergency situation, vagueness and unforeseeable of transition of the system in the emergency state, necessity of account and estimations of human factor. Transition scopes are described from an emergency to the emergency situation and vice versa, recommendations on diminishment of area of defective conditions of the mine ventilation system are given. In basis of conception of technogen safety optimization of mine ventilation (if necessary – is joint with degassing) and system of against-accident defense must be fixed with the use of information-analytical technologies of control and management by the state of mine in normal and the emergency terms based on the synthesis of mathematical, imitation, situation and expert modeling of the compound technological systems.

Keywords: safety, determinist and probabilistic conceptions of safety, emergency situation, vital activity, vagueness, modeling.

Статья поступила в редакцию 10.11.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Круковским А.П.