

УДК 622.817.9,622.412.1,654.026

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Т. В. Гоффарт¹, А. А. Васильев²¹НПФ «Гранч», 630015 Новосибирск, goffart@granch.ru²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090 Новосибирск, gasdet@hydro.nsc.ru

Обсуждаются ряд современных научных и практических задач в области построения многофункциональных систем безопасности угольных шахт и требования к таким системам. Проанализированы причины и динамика развития аварий в шахтах, приведены примеры подходов к их предотвращению. Рассмотрены существующие и перспективные направления развития технических средств и систем обеспечения безопасности шахтеров. Показана эффективность применения технологии сканирующего газового контроля и совмещения ее с системой автоматического пожаротушения, что позволяет гасить пламя на начальной стадии возгорания метановоздушной смеси.

Ключевые слова: предотвращение аварий, взрыв, многофункциональная система безопасности, треугольник безопасности, позиционирование, подземная связь, сканирующий газовый анализ.

DOI 10.15372/FGV20190418

Уже с тех давних пор, когда уголь только начали добывать шахтным способом, возникла проблема взрывов метановых смесей при внесении в шахту источников освещения. Проблема борьбы с шахтными взрывами остается актуальной до сих пор, по-прежнему аварийные взрывы приводят к человеческим жертвам, огромным разрушениям и материальным потерям.

Современные нормативные документы обязывают угольные шахты иметь многофункциональную систему безопасности (МФСБ), которая должна обеспечивать: мониторинг и предупреждение условий возникновения опасности геодинамического, аэрологического и техногенного характера; оперативный контроль соответствия технологических процессов заданным параметрам; применение систем противоаварийной защиты людей, оборудования и сооружений [1]. Но зачастую на местах формально относятся к выполнению предписаний и требований надзорных органов, да и сами требования не всегда оказываются вполне конкретными, а лица, принимающие решения, сосредоточивают свое внимание на проблемах вывода людей при аварии и поиска пострадавших. Упускается важнейший момент — главной задачей является не ликви-

дация аварий и их последствий, а недопущение аварий или их максимальное ослабление в случае возникновения. И главную роль в этом должны играть автоматизированные системы управления (АСУ), позволяющие максимально ослабить человеческие ошибки.

Угледобывающие предприятия непрерывно наращивают темпы добычи, применяя все более совершенную технику для выполнения производственных задач. Доступная на текущий момент статистика по динамике аварийности и травматизма в угольной отрасли за 2005–2016 гг. (см., например, [2–8]) свидетельствует о безусловно имеющейся тенденции к предельной минимизации травматизма в деятельности угольных шахт. Это подтверждает, например, диаграмма Ростехнадзора за 2016 г. [2] (рис. 1), иллюстрирующая связь количества смертельно травмированных человек с ростом объема добычи угля в России по годам. Согласно исследованиям Ростехнадзора (методика риск-ориентированного анализа) риск травмирования на горнодобывающих предприятиях складывается из трех составляющих: фоновый риск, обусловленный свойствами месторождения и существующим уровнем развития отрасли и общества в целом; добавленный индивидуальный риск, обусловленный нарушениями требований безопасности, вызванными недостаточной квалификаци-

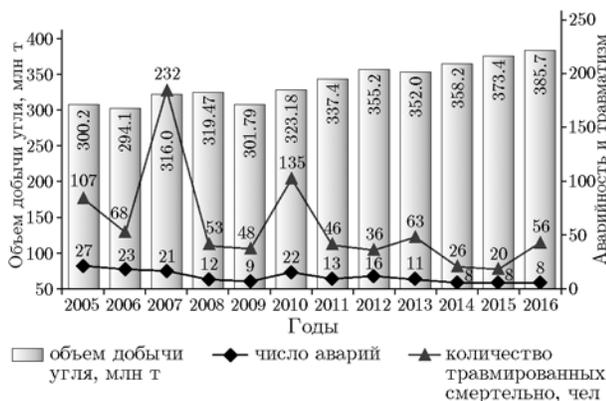


Рис. 1. Динамика травматизма и аварийности в угольной отрасли в проекции на объемы добычи угля в 2005–2016 гг.

ей и низкой дисциплиной персонала; добавленный системный риск, обусловленный нарушениями требований безопасности, вызванными недостаточным уровнем организации производства.

Несмотря на прилагаемые усилия по снижению производственного травматизма, аварии на шахтах по-прежнему уносят жизни людей. Самыми крупными за последнее десятилетие стали аварии на шахтах «Ульяновская», «Юбилейная» (2007 г.), «Распадская» (2010 г.), «Северная» (2016 г.).

На практике главной причиной аварий является именно человеческий фактор в самом общем смысле этого понятия, поэтому внедрением МФСБ пытаются решить в первую очередь проблемы, связанные с инженерными просчетами (ошибки при проектировании, эксплуатации, ошибки аппаратуры), безответственностью (нарушение правил безопасности), нарушениями технологии.

Поскольку взрыв возникает неодномоментно, актуальны также вопросы обеспечения технической возможности оперативного реагировать на возникновение очагов возгорания и другие предаварийные события в шахте.

Уже сегодня на отечественном рынке есть МФСБ не просто удовлетворяющие нормативным требованиям, но и способные действительно прогнозировать аварийные ситуации и принимать меры по предотвращению аварии заблаговременно. Примером такой системы может служить комплекс «Умная шахта»[®] производства ООО НПФ «Гранч», г. Новосибирск (далее — Комплекс). Для обеспечения возможности предотвращения аварии необходимо,

чтобы система безопасности в режиме реального времени (ежесекундно) позволяла определять, где находится шахтер, на связи ли он и в каком состоянии. В качестве примера на рис. 2 приведен треугольник личной безопасности шахтера, образуемый линией 4, соединяющей максимальные значения по всем осям. В качестве осей выбрана полнота обеспечения соответствующих функционалов в МФСБ, шкалы — относительные. Единица по шкале «Позиция» показывает обеспечение системой МФСБ функции непрерывного определения местоположения каждого шахтера (позиционирование) с разрешением не хуже ± 2 м, нуль — отсутствие функции позиционирования в принципе. Единица по шкале «Связь» характеризует обеспечение непрерывной двусторонней связи, а также индивидуального и группового оповещения шахтеров с подтверждением получения сигнала оповещения, нуль — отсутствие данного функционала. Единице по шкале «Состояние» соответствует наличие в системе информации о физическом состоянии шахтера и среды рядом с ним в реальном времени, нулю — отсутствие технической возможности сбора такой информации. Другими линиями на рис. 2 представлены примеры того, как в различных МФСБ могут быть не реализованы или реализованы не полностью данные функции. Линия 1 показывает отсутствие в МФСБ данных о физическом состоянии человека и неполный функционал по связи и определению координат; линия 2 — пример того, когда все три функции в МФСБ реализованы наполовину. Рекомендации по подходу к выбору критериев объектив-

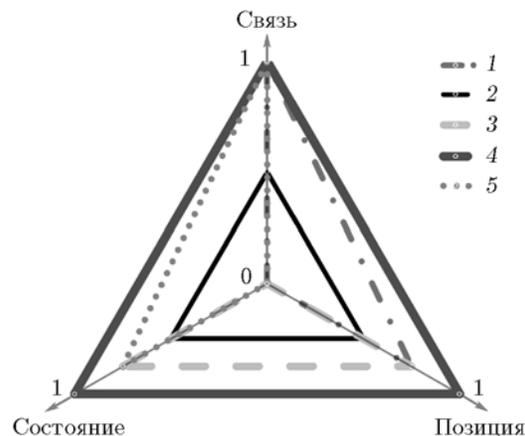


Рис. 2. Треугольник личной безопасности шахтера

ной оценки функционала МФСБ можно найти в [9]. Разработанный Комплекс не только позволяет оставаться шахтеру в его личном треугольнике безопасности, но и реализует ряд дополнительных функций.

Внедрение современной МФСБ на предприятии предполагает развертывание единой современной надежной инфраструктуры связи и передачи данных для всех ее подсистем. Одним из главных элементов Комплекса является устройство оповещения SBGPS Light (рис. 3). Благодаря встроенному в головной шахтерский светильник электронному блоку, оно предоставляет возможность наблюдать в режиме реального времени положение каждого работника с разрешением не хуже ± 2 м, иметь оперативную связь с каждым сотрудником шахты, обеспечивать аварийное оповещение персонала с подтверждением его получения, оценивать состояние человека (движется/обездвижен) и состояние среды. В отличие от систем контроля доступа, система непрерывного определения местоположения позволяет оценивать реальное состояние безопасности шахтера. При попадании человека в опасную зону ему автоматически поступает голосовое оповещение-предупреждение, при этом для подтверждения приема оповещения шахтером имеется кнопка, расположенная на фаре головного светильника. На базе системы позиционирования реализуется система предотвращения транспортных коллизий. Диспетчер также может отправлять произвольные голосовые сообщения на устройство оповещения по поводу аварийных ситуаций и управления производственным процессом. В затруднительном положении шахтер и сам способен передать сигнал тревоги наверх, нажав трижды на кнопку устройства оповещения. А поскольку кнопка на фаре всего одна, то



Рис. 3. Устройство оповещения SBGPS Light производства НПФ «Гранч»

человек не запутается в стрессовой ситуации.

Для угольных шахт, опасных по взрыву метана и угольной пыли, обязательным является применение системы аэрогазового контроля, в которую входят стационарные датчики газов. Более того, эта система в составе Комплекса способна получать данные не только со стационарных датчиков, но и с мобильных газоанализаторов, встроенных в устройство оповещения SBGPS Light. Идея заключается в том, что в устройство оповещения встраиваются модуль позиционирования, акселерометр и газовые сенсоры (CH_4 , CO и др.). Измерение концентрации газа и определение координат проводятся не реже одного раза в секунду без участия человека, данные измерений автоматически передаются на сервер системы безопасности и далее в диспетчерскую (в случае превышения пороговых значений — контролирующим лицам). Тем самым обеспечивается более полная картина аэрогазовой обстановки в шахте. Контроль аэрогазовой обстановки позволяет своевременно зафиксировать пороговый уровень взрывоопасной концентрации метана и его местоположение.

Такая модификация Комплекса привела к созданию уникальной технологии сканирующего газового анализа, позволяющей собирать данные для прогноза возникновения пожара, взрыва и детонации на опасных производственных объектах, а также для заблаговременного оповещения персонала шахты. Технология успешно применяется с 2010 г. Благодаря ей на шести угольных шахтах Кузбасса в течение последних восьми лет собрано огромное количество статистических данных о распределении метана в горных выработках шахт. На рис. 4 показаны для примера сведения о концентрации метана, собранные одним устройством за смену. Преимущество технологии сканирующего газового контроля в том, что никакие другие переносные газоанализаторы не передают результаты измерений в режиме реального времени с четкой привязкой к координатам точек замеров. Поскольку в шахте находится большое количество персонала, риск ошибки минимизируется за счет большой статистической выборки.

Существующей на сегодняшний день научной проблемой практического применения собранной статистической информации является отсутствие методологии и программно-аппаратных средств комплексного анализа со-



Рис. 4. Пример статистической информации о концентрации метана за смену на конкретном участке:

на горизонтальной оси — номера выработок, в которых побывал шахтер, по вертикальной оси — число измерений, при которых зафиксированы предупредительный порог концентрации метана и превышение этого порога

бренных данных и прогнозирования возникновения и последующего развития газодинамических течений в шахте, в том числе и самого опасного сценария. Четкое представление о возможных сценариях возникновения и развития очага горения в условиях шахт позволит максимально обезопасить людей и оборудование от воздействия горячих продуктов.

Метастабильность горючей смеси обусловлена наличием потенциального барьера с высотой, равной энергии активации $E_{\text{акт}}$, преодолев который с помощью внешнего инициатора исходная смесь вступает в химическую реакцию и продукты реакции переходят в новое более устойчивое состояние. Разность между суммарными энергиями образования исходных веществ и продуктов реакции определяет энерговыделение смеси Q . Основной задачей внешнего источника является создание таких условий, при которых воздействие инициатора запустит механизм самоподдерживающегося режима распространения процесса за счет энерговыделения смеси Q .

Это энерговыделение способно обеспечить распространение по горючей смеси дозвукового фронта дефлаграции и сверхзвукового фронта детонации. Дефлаграционное горение характеризуется тем, что энтропия продуктов реакции достигает при этом максимального значения, что согласуется со вторым началом термодинамики. Наряду с дефлаграционным, известен режим распространения пламени с минимальной скоростью — ламинарное (нормальное) горение, хотя для него свойство экстремума энтропии не выполняется. Считается, что

основным механизмом, обеспечивающим распространение пламени с минимальной скоростью, являются теплопроводность и диффузия частиц от горячих продуктов реакции вперед в холодную исходную смесь. Как правило, режим ламинарного пламени неустойчив и пламя трансформируется в турбулентное, соответствующее волне дефлаграционного горения. Например, для метановоздушной смеси максимальная скорость ламинарного пламени составляет 0.48 м/с, а скорость дефлаграции — 60 м/с, т. е. почти на два порядка больше. Еще большая скорость типична для детонации — 1800 м/с.

Согласно современной классификации возбуждение горючей смеси достигается тремя основными способами:

- слабое инициирование (воспламенение, зажигание), когда возбуждается только ламинарное горение со скоростями распространения на уровне десятков сантиметров в секунду;
- сильное (прямое) инициирование, когда самоподдерживающаяся детонационная волна формируется в непосредственной близости от инициатора и затем распространяется по смеси со скоростью на уровне нескольких километров в секунду;
- промежуточный случай, когда смесь только поджигается на начальном этапе, а затем фронт пламени ускоряется в силу естественных или искусственных причин до скоростей (видимых) на уровне сотен метров в секунду. При определенных условиях в дальнейшем может даже реализоваться переход горения в детонацию — фоторазвертка этого процесса представлена на рис. 5. Традиционно мерой успешной реализации процесса считается энергия, переданная от инициатора к горючей смеси, — критическая энергия E_* . Так, для воспламенения метановоздушной смеси (ламинарное горение) требуется энергия $E_* = 0.28$ мДж, а для инициирования детонации — $E_* = 10^8$ Дж, что эквивалентно примерно энергии 17-килограммового тротилового заряда. Эти значения четко свидетельствуют о том, что аварийная ситуация в шахте в начальный момент связана со случайным воспламенением смеси от некоторого источника (например, замыкание электропроводки, пробой при статическом высоком напряжении, сильный нагрев трущихся элементов шахтного оборудования).

Поскольку на начальной стадии всегда ре-

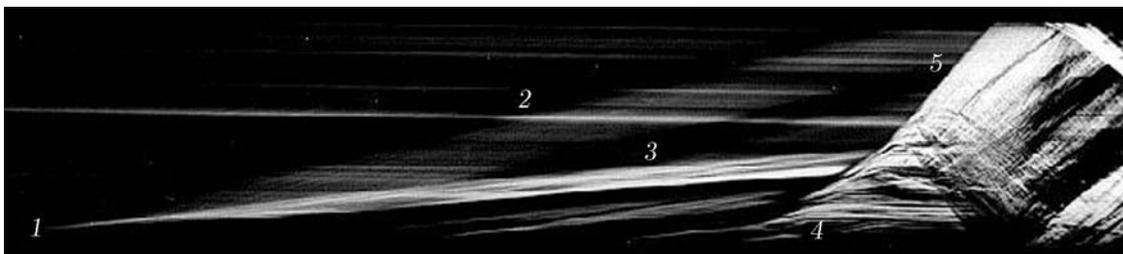


Рис. 5. Фоторазвертка процесса перехода горения в детонацию:

1 — воспламенение, 2 — акустическая волна сжатия, 3 — фронт пламени, 4 — спонтанные очаги реакции и формирование перехода горения в детонацию, 5 — детонационная волна

ализуется лишь воспламенение метановоздушной смеси, то и пламя вначале распространяется из точки в режиме ламинарного горения со скоростью 0.34 м/с. Если диаметр шахтного штрека взять равным 6 м, то ламинарное пламя полностью перекроет сечение шахты примерно за 17 с (в случае воспламенения вблизи стенки). Реально же фронт ламинарного пламени при расширении теряет устойчивость и процесс распространения превращается в турбулентное горение с возрастающей скоростью. Верхней оценкой скорости турбулентного пламени служит скорость дефлаграционного горения — примерно 60 м/с для метановоздушной смеси. При сильно неоднородной смеси на перекрытие сечения шахты фронтом турбулентного пламени потребуется примерно 0.1 с, т. е. почти на два порядка меньшее время.

После перекрытия сечения шахты пламя будет распространяться вдоль штрека как своеобразный «поршень», ускоряясь как за счет автотурбулизации, так и за счет искусственной турбулизации. Ускоренное движение такого «поршня» приведет в движение исходную смесь, и пламя относительно штрека станет распространяться с суммарной скоростью потока смеси и турбулентного горения в таком потоке. Если горючая смесь имеет значительную протяженность вдоль шахтного штрека, то при определенных условиях волны сжатия смогут сформировать ударную волну и довести смесь до значительно более опасного режима — перехода горения в детонацию. Если протяженность смеси ограничена, то на границе горючая смесь — воздух в зависимости от режима распространения взрывного процесса (от ламинарного дозвукового горения до гиперзвуковой детонации) возникнет один из классических типов распада произвольного разрыва с последующим нестационарным распростране-

нием воздушной ударной волны по штреку и волны разрежения, направленной к точке воспламенения. Для корректного моделирования важно знать, образовывалась смесь постепенно или же при залповом выбросе метана из угольного пласта, — сценарии будут различаться. Следует учитывать и ряд других параметров: место инициирования, разветвленность угольных штреков, шероховатость стенок штрека и т. д. — задача многопараметрична.

В настоящее время известно несколько компьютерных программ для определения ускорения фронта горения, основанных на уравнениях Навье — Стокса и моделях турбулентности различной сложности. Известны также программы расчета сгорания смеси в рамках детальной кинетики, охватывающей около 2000 реакций для топлив из класса тяжелых углеводородов. Объединение газодинамической и кинетической частей в принципе позволяет рассчитать динамику ускорения пламени в горючей смеси, но затраченное на расчет время даже на суперкомпьютерах с параллельными вычислениями намного превышает время развития шахтного взрыва. Основная задача — разработать физически корректную модель ускорения пламени, пригодную для «мгновенного» инженерного расчета динамики пламени в условиях шахт и последующей передачи управления на исполнительные устройства для ослабления и гашения возникшего пламени. Задача об ускорении пламени и переходе горения в детонацию — одна из фундаментальных в теории горения и взрыва, корректно не решенная до сих пор.

Известно несколько способов ослабления и гашения волн горения и детонации — создание облака химически инертных твердых частиц перед фронтом волны, создание газодождевой завесы, распыление ингибито-

ров и т. д. Один из физически понятных критериев гашения волны состоит в том, что скорость волны за счет потерь энергии и импульса волны на разгон и нагрев частиц должна уменьшиться до такой величины, когда самовоспламенение газа за фронтом волны становится невозможным.

Из вышесказанного очевидно, что на практике ослабить и предотвратить развитие аварийной ситуации способна только быстродействующая автоматическая система, которая должна своевременно обнаружить воспламенение смеси и ввести в нужный момент в нужном месте соответствующие системы подавления. Разработанный в НПФ «Гранч» Комплекс уже сегодня обладает возможностью передачи любой телеметрии и управляющих сигналов в режиме реального времени. Ближайшие задачи — формирование требований к составу и характеристикам сенсоров, применяемых для детектирования предаварийных событий, выбор и отработка способов предотвращения аварийной ситуации, отработка способов ослабления и гашения волн горения и взрыва при несанкционированном возникновении возгорания метановоздушной смеси, объединение всех гасящих технологий в единый управляемый комплекс.

На рис. 6 в логарифмическом масштабе представлен молярный состав основных (более 0.1 %) продуктов реакции в зависимости от молярной доли метана в исходных метановых топливовоздушных смесях. Обратим внимание на то, что максимумы концентраций отдельных компонентов сдвинуты друг относительно друга. Во всем диапазоне концентраций метана в продуктах можно зафиксировать азот N_2 , водяной пар H_2O и диоксид углерода CO_2 . Датчики свечения (фиксация момента вспышки) и ионизационные (индикатор продуктов горения) наиболее предпочтительны для регистрации воспламенения и распространения фронта горения. Датчики, фиксирующие воспламенение смеси и свечение продуктов, должны быть «привязаны» к этим компонентам.

Особое внимание на рис. 6 следует обратить на то, что при увеличении концентрации метана (от нижнего предела) в продуктах растет доля водорода, оксида углерода (их смесь также известна как горючий синтез-газ), а также радикала OH . Поскольку теплопроводность и диффузия являются основными физическими механизмами, обеспечивающими распространение пламени, то нагретые молекулы

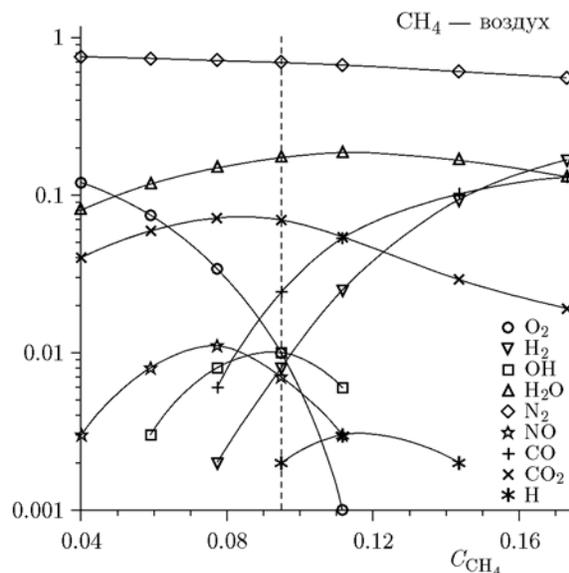


Рис. 6. Молярные концентрации основных продуктов горения метановоздушных смесей

легкого водорода (а также OH) при диффузии из области продуктов в исходную смесь могут существенно ускорить химические реакции и тем самым повлиять на ускорение пламени (например, хорошо известная реакция развития цепи $H + O_2 \rightarrow OH + O$!).

После того как фронт пламени заметно ускорится и начнется формирование головной ударной волны, определяющими могут стать датчики давления (вместе с ионизационными они дадут информацию об ударной волне (давление) и положении зоны химической реакции (проводящие продукты горения)). Временной сдвиг этих сигналов позволяет судить о размере зоны реакции.

Требования, которые сегодня логично сформулировать для системы пожаротушения, следующие: максимально быстрое обнаружение — оптическая диагностика; анализ возникшей ситуации и выбор решения (АСУ); передача управления на соответствующие элементы пожаротушения (АСУ); максимально быстрый ввод системы в рабочее состояние (например, взрывное диспергирование порошка или воды); однородность тушащего средства по сечению и длине; оптимизация по физическим свойствам (учет физических свойств гасящего материала: теплоемкость, масса, поверхность, агрегатное состояние и др.).

Важно учитывать характерные времен-

ные и пространственные соотношения, поскольку для эффективного гашения масштабы и время физических процессов (ускорение частиц — отбор $E_{кин}$, прогрев — отбор $E_{тепл}$) должны быть меньше химических!

В качестве средств гашения могут быть применены: инертный газ — выход вне концентрационных пределов; инертные частицы — отбор кинетической и тепловой энергий; распыл инертной жидкости — отбор энергии фазовых переходов; «подушки безопасности»; гасящие зазоры и др.

Уже сейчас разработанный в НПФ «Гранч» Комплекс позволяет использовать все преимущества борьбы с возгоранием на его начальной стадии: низкую скорость распространения пламени, малый размер зоны возгорания, максимально возможное время для принятия решения и ввода в действие факторов тушения, максимальное время для создания однородного тушащего облака.

В составе Комплекса успешно эксплуатируется шахтный взрывозащищенный смартфон SBGPS Mphone, обеспечивающий не только связь из любой точки подземных выработок с любой точкой на поверхности, но и открывающий широкие возможности благодаря различным установленным приложениям: контроль выполнения предписаний, фото- и видеофиксация выявленных нарушений и предаварийных событий, тепловой контроль узлов и механизмов горно-шахтного оборудования, внутришахтных транспортных средств (контроль параметров работы дизель-гидравлических локомотивов) и другой шахтной техники. Дополнительная информация также будет централизованно поступать наверх и использоваться для заблаговременного планирования технического обслуживания и ремонтных работ, организации контроля и оптимального управления транспортной логистикой. Все это повысит достоверность информации и, как следствие, надежность эксплуатируемого оборудования, минимизирует человеческие ошибки.

МФСБ безусловно должна удовлетворять требованиям надежности. Реально необходимо, чтобы система функционировала при любом единичном повреждении (т. е. при выходе из строя любого ее элемента), а также чтобы была легко восстанавливаемой. Для этого необходимо анализировать не только параметры работы шахтной техники, но и параметры работы оборудования самой МФСБ. В Комплексе на-

дежность работы оборудования обеспечивается несколькими уровнями резервирования. Такая МФСБ остается работоспособной при полной потере питания на участке или на всем объекте, при повреждении кабельной инфраструктуры. Резерв питания создается встраиваемыми в оборудование литийжелезодифосфатными аккумуляторами, корпуса стационарного оборудования выдерживают воздействие ударной воздушной волны импульсом до 10 кПа·с. Резерв линий связи обеспечивается топологией сети (кольцо), беспроводным каналом связи по стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi). На участках, где функционирование узлов связи все же нарушено, предусмотрена возможность восстановления линии путем применения комплекта оперативно развертываемых мобильных базовых станций. Такое оборудование может применяться горноспасателями для организации связи даже на объектах, где комплекса нет совсем.

Комплекс может работать до, во время и после аварии. Такой подход обеспечивает надежную связь для горноспасателей и их эффективную работу по поиску пострадавших и ликвидации последствий. А благодаря налаженной интеграции с программным комплексом «Вентиляция» производства ООО «Шахтэксперт-системы», г. Кемерово, реализован функционал голосовой навигации людей согласно плану ликвидации аварии, в том числе проводятся: расчет маршрутов по данному плану в режиме реального времени; сопровождение людей во время движения с передачей голосовых навигационных указаний; вывод людей в ручном и автоматическом режимах; корректировка маршрута при отклонении.

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что существующая МФСБ на практике позволяет обеспечить ряд превентивных мер, направленных на предотвращение развития аварии:

- дистанционный мониторинг местоположения горнорабочих и транспортных средств, а также горноспасателей (анализ перемещений в рабочем режиме и в аварийной ситуации, вывод по плану ликвидации аварии);

- дистанционный контроль газовой обстановки (содержание метана, оксида углерода, кислорода, водорода и т. д.);

- дистанционный контроль безопасности производственных процессов (контроль проез-

да на конвейере, контроль опасного сближения с механизмами);

— дистанционный контроль выполнения предписаний (анализ наиболее частых причин аварий);

— дистанционный контроль параметров оборудования (в том числе оборудования самой МФСБ) и транспортных средств.

Комплекс является расширяемым, его архитектура позволяет легко наращивать функционал для решения широкого круга задач по предупреждению аварий, в том числе анализ статистики по нескольким газам и прогноз газодинамических явлений; обнаружение места вспышки, оперативное управление действием систем гашения взрыва; обнаружение нагреваемых механизмов и отслеживание износа оборудования для своевременной замены его составных частей резервными.

В настоящее время имеются все необходимые предпосылки для создания автоматической системы предотвращения и гашения несанкционированных возгораний метаноугольных смесей в условиях шахт, которая способна обеспечить эффективное гашение даже такого наиболее опасного процесса, как сверхзвуковой режим детонации. Наиболее подходящей для всех операций гашения является начальная стадия возгорания смеси.

Актуальным представляется создание законодательной основы общегосударственного использования системы прогноза возникновения пожаров, взрывов, детонации на основе технологии сканирующего газового анализа, а также работ по совершенствованию существующих нормативных требований к МФСБ и ее подсистемам.

Решение указанных задач является важным для практического предотвращения аварий на опасных производственных объектах и может быть применено не только в сфере угледобычи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности** // Правила безопасности в угольных шахтах. Сер. 05. Вып. 40. — М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014.
2. **Сайт** Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) [Электронный ресурс]. — URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/. — 2018.
3. **ООО «Айкхофф Сибирь»**. Мировой рекорд по добыче угля подземным способом на шахте «Котинская» АО «СУЭК-Кузбасс» // Уголь. — 2017. — № 1. — С. 4.
4. **Официальный сайт** АО «СУЭК» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.suek.ru/>. — 2018.
5. **Официальный сайт** ПАО «Распадская угольная компания» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.raspadskaya.ru/>. — 2018.
6. **Официальный сайт** ОАО «Белон» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.belon.ru/>. — 2018.
7. **Официальный сайт** АО «Воркутауголь» [Электронный ресурс]. — URL: <https://vorkutaugol.ru/>. — 2018.
8. **Официальный сайт** ООО «ЕвразХолдинг» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.evraz.com/ru/>. — 2018.
9. **Ваганов В. С., Гоффарт Т. В., Дубков И. С.** Мультисервисные компьютерные сети в угольных шахтах. Особенности реализации и развития // Вестн. Науч. центра по безопасности работ в угольной пром-сти. — 2018. — № 2. — С. 56.
10. **ГОСТ Р 55154-2012.** Оборудование горношахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования: введ. 22.11.2012. — М.: Стандартинформ, 2013.
11. **Гоффарт Т. В., Новиков А. В., Паневников К. В.** Сканирующий (динамический) газовый контроль в угольных шахтах // Безопасность труда в пром-сти. — 2017. — № 6. — С. 592.
12. **Положение** об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011 № 678. — Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.12.2011 № 22812.
13. **Приказ** Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 450 от 31.10.2016 «О внесении изменений в некоторые приказы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, устанавливающие требования в области промышленной безопасности при добыче угля подземным способом». — Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.11.2016 № 44482).

Поступила в редакцию 02.10.2018.

После доработки 15.01.2019.

Принята к публикации 20.02.2019.