



БЕЗОПАСНОСТЬ труда в промышленности

Occupational Safety in Industry

№ 9
2018

Ежемесячный научно-производственный журнал www.btpnadzor.ru

ISSN 0409-2961



2 сентября —

*День работников нефтяной
и газовой промышленности*

УДК 622.86

© Ю.В. Горлов, Н.Л. Разумняк, 2018

Взрывозащита угольных шахт с применением автоматических систем локализации взрыва



Ю.В. Горлов,
канд. техн. наук, ген. директор,
gorlov@mvkmine.ru



Н.Л. Разумняк,
д-р техн. наук, вед.
науч. сотрудник

ЗАО «МВК по ВД при АГН»,
Москва, Россия

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

Вопросам обеспечения безопасности на промышленных объектах необходимо уделять повышенное внимание. В этих целях на угольных шахтах в настоящее время внедряют многофункциональные системы безопасности, включающие систему взрывозащиты горных выработок. Для решения данной задачи разработаны, сертифицированы и поставляются на угольные шахты средства взрывозащиты — автоматические системы, соответствующие всем требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: угольная шахта, средства взрывозащиты, горные выработки, локализация взрыва, взрывоподавление, автоматическая система, противоаварийная защита, многофункциональная система безопасности.

DOI: 10.24000/0409-2961-2018-9-13-19

Введение

Обеспечение безопасности шахтеров — важнейшая задача при подземной угледобыче. Для ее решения ученые исследуют природные и технологические риски, разрабатывая средства их минимизации. Существенная угроза в шахте — наличие метана и угольной пыли, которые при определенной концентрации в рудничном воздухе и присутствии источника воспламенения могут взрываться. При авариях, как правило, сначала взрывается метан. Ударная воздушная волна (УВВ) от его взрыва, распространяясь по горным выработкам, поднимает отложившуюся угольную пыль, создавая взрывоопасную пылевоздушную смесь. Подходящий за УВВ фронт пламени (ФП) инициирует мощные взрывы угольной пыли. Если этот процесс не остановить, локализовав взрыв, то он начнет лавинообразно распространяться по горным выработкам, вовлекая новые массы угольной пыли и вызывая все более сильные взрывы вплоть до детонационного взрыва. Бороться с указанным явлением можно единственным возможным способом: прекратить прохождение ФП по горным выработкам. Когда ФП потушен (локализован), распространение взрыва, лишившись энергетической подпитки, прекратится естественным образом, а взрывная волна затухнет на ограниченной длине горной выработки.

Ранее применявшиеся методы локализации взрывов

На протяжении XX в. во всех угледобывающих странах для локализации взрывов метана и угольной пыли в шахтах использовали только сланцевые и водяные взрыволокализующие заслоны. Однако за время применения они показали низкую эффективность и не всегда решали возложенную задачу в рамках произошедших аварий на угольных шахтах.

Тем не менее эти заслоны продолжали эксплуатироваться, так как другие более эффективные средства взрывозащиты отсутствовали.

Сланцевые и водяные заслоны имеют объективные недостатки, вызванные пассивным принципом действия: флегматизирующее вещество (инертная пыль или вода) диспергируется внешней энергией УВВ от возникшего взрыва, поэтому эффективность создания аэрозольного облака полностью зависит от параметров локализуемого взрыва. Здесь проявляется техническое противоречие, присущее пассивным заслонам. При слабых взрывах энергии УВВ недостаточно для создания облака инертной пыли или водяных капель, а при сильных — облако формируется гораздо медленнее распространения ФП по горным выработкам [1]. В результате взрыв не локализуется и беспрепятственно продолжает свое развитие. При этом продолжительность существования облака из инертной пыли или водяных капель крайне мала и не превышает 1 с. Характерный пример низкой эффективности пассивных заслонов — трагедия при аварии, произошедшей 9 мая 2010 г. на шахте «Распадская» (г. Межуреченск, Кемеровская обл.). Взрыв метана и угольной пыли распространился практически по всей шахте, в итоге 90 шахтеров, находившихся на аварийных участках, погибли, а шахта полностью выведена из строя.

Даже теоретически пассивные заслоны способны локализовать взрывы пылегазовоздушных смесей в узком диапазоне параметров этих взрывов. Водяные заслоны могут справиться с балансирующими или слабыми взрывами со скоростью распространения ФП 100–285 м/с при скорости распространения УВВ в пределах 635 м/с и избыточном давлении на фронте УВВ менее 0,3 МПа, а сланцевые заслоны эффектив-

ны при скорости ФП 80–230 м/с, скорости распространения УВВ не более 500 м/с и максимальном избыточном давлении на фронте УВВ 0,15 МПа [2].

К общим недостаткам пассивных заслонов можно отнести:

узкий диапазон допустимых параметров локализуемых взрывов;

малую продолжительность существования огнетушащего вещества во взвешенном состоянии;

невысокую эффективность огнетушащего вещества, в связи с чем в горных выработках необходимо размещать десятки тысяч килограммов воды или инертной пыли;

частое трудоемкое обслуживание, вызванное необходимостью замены слеживающейся и отсыревающей инертной пыли сланцевых заслонов, не защищенной от атмосферного воздействия, или поддержания требуемого уровня воды водяных заслонов;

сложность (а часто невозможность) размещения в горных выработках пассивных заслонов с необходимым количеством воды или инертной пыли (размещение заслонов с неполной загрузкой в настоящее время запрещено) [3];

невозможность включения пассивных заслонов в состав многофункциональной системы безопасности (МФСБ) из-за конструктивных особенностей.

Нормативная база

Обеспечение безопасности на промышленных объектах привлекает повышенное внимание органов власти и разработчиков нормативных документов в области промышленной безопасности (ПБ). Согласно Указу Президента Российской Федерации от 6 мая 2018 г. № 198 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [4] приоритетное направление государственной политики в области ПБ — минимизация влияния человеческого фактора на технологические процессы на промышленных объектах. При этом поставлена задача по разработке нормативно-правовой базы в части, касающейся создания и внедрения системы государственного дистанционного мониторинга состояния ПБ, предусматривающей автоматизированный сбор, фиксиацию, обобщение, систематизацию и оценку информации о значениях параметров технологических процессов на промышленных объектах в целях определения состояния ПБ. В угольной отрасли для обеспечения ПБ, противоаварийной защиты с использованием автоматизированного сбора и анализа информации для принятия оперативных решений Ростехнадзор утвердил новые Федеральные нормы и правила в области ПБ «Правила безопасности в угольных шахтах» [5]. Требования п. 22 [5] предусматривают обязательное наличие в горных выработках шахты, надшахтных зданиях и сооружениях комплекса систем и средств по организации

и обеспечению безопасности ведения горных работ, контролю и управлению технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях. Системы и средства данного комплекса необходимо объединить в МФСБ.

Наряду с другими системами обеспечения безопасности шахты в состав МФСБ должна входить система контроля и управления средствами взрывозащиты. Для шахт, опасных по газу и угольной пыли, взрывозащита подземных горных выработок — важнейшее мероприятие по обеспечению безопасности шахтеров [6]. Согласно Федеральным нормам и правилам в области ПБ «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах» [7] и ГОСТ Р 57717—2017 «Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения» [8] взрывозащита (пылевзрывозащита, пылегазовзрывозащита) — комплекс мероприятий, направленных на предотвращение возникновения взрывчатых пылевоздушных (пылегазовоздушных) смесей в атмосфере угольных шахт и локализацию взрывов пылегазовоздушных смесей.

Согласно требованиям п. 183 [5] для взрывозащиты в части локализации внезапно возникших взрывов метана и (или) угольной пыли горные выработки шахт, опасные по газу и пыли, должны оснащаться средствами взрывозащиты, обеспечивающими локализацию взрывов. Данное требование обосновано, так как шахта — опасный производственный объект, вся атмосфера которого — потенциально взрывоопасная среда. Единственный способ минимизировать воздействие вредных и опасных факторов возможного взрыва — локализовать его, т.е. прекратить распространение взрыва по сети горных выработок. В противном случае ударная волна нелокализованного взрыва будет поднимать в воздух отложения угольной пыли, а подходящий за ней ФП — вызывать новые все более сильные взрывы [9] вплоть до детонационного взрыва и разрушения шахты. При этом применение любых других средств, обеспечивающих только снижение поражающих факторов взрыва и не направленных на его локализацию, бессмысленно и неэффективно.

Автоматические системы взрывоподавления — локализации взрывов

В целях повышения безопасности шахтеров и реализации направлений развития ПБ с применением автоматизированных систем сбора и обработки информации возникла острая необходимость создания средств взрывозащиты горных выработок нового поколения — автоматических систем с принудительным распылением огнетушащего вещества.

В 2005 г. российскими учеными разработана и внедрена инновационная автоматическая система взрывоподавления — локализации взрывов АСВП-ЛВ.1М. Она полностью — от идеи, защищенной патентами, до серийного производства — создана

сотрудниками ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу при Академии горных наук». Они провели весь комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ: от тестирования лабораторного образца до промышленных испытаний в шахтных условиях установочной серии автоматических систем. Технология базировалась на исследованиях ученых СССР (штолня «Гранит»), доказавших эффективность локализации взрывов пылегазовоздушной смеси за счет создания на пути распространения ФП аэрозольного облака из огнетушащего порошка длиной не менее 15 м за время, не превышающее 30 мс. Система АСВП-ЛВ.1М обладает быстродействием 15–20 мс и формирует взрыволокализующее облако длиной не менее 30 м. Чувствительность системы такова, что ее срабатывание происходит при давлении на фронте УВВ 0,02 МПа: это минимальное значение при переходе вспышки метана во взрыв.

Для подтверждения технических параметров автоматических систем по быстродействию и формированию облака из огнетушащего порошка проводились испытания на стендовой базе ФГУП ЦНИИмаш (г. Королев, Московская обл.). Время срабатывания составило от 11,3 до 13,6 мс [10]. Видеосъемка движения переднего фронта огнетушащего порошка показала: на расстоянии 0,6–6 м от сопла бункера системы массовая скорость распространения аэрозольного облака падает с 462 до 362 м/с, что сопоставимо со скоростью распространения ФП сильных взрывов пылегазовоздушной смеси.

В рамках проверки надежности срабатывания АСВП-ЛВ.1М проведена серия испытаний на стендовой базе (испытательный штрек) ФГУП «ГосНИИ «Кристалл» (г. Дзержинск, Нижегородская обл.). Взрыв стехиометрической метановоздушной смеси объемом 9 м³ в газовой камере испытательного штрека генерировал УВВ, соответствующую УВВ при затухании детонации и переходе взрыва в сильный взрыв (избыточное давление на фронте волны 1,7 МПа и более). Автоматическая система была установлена во взрывной трубе испытательного штрека, а приемный щит располагался в 5 м от диафрагмы газовой камеры, в которой взрывалась метановоздушная смесь. После ударного воздействия на приемный щит от избыточного давления на фронте УВВ возникло облако общей длиной более 37 м от места установки бункера автоматической системы по ходу выброса порошка. Образование аэрозольного облака из огнетушащего порошка произошло до подхода ФП из взрывной трубы, что подтверждает высокое быстродействие автоматической системы, достаточное для локализации взрыва пылегазовоздушной смеси. Тестирование также показало, что АСВП-ЛВ.1М можно устанавливать в непосредственной близости от вероятного источника взрыва для его локализации в начальной стадии возникновения.

Проведены испытания системы на экспериментальной базе в условиях, максимально приближенных к реальным, в специальном опытном штреке сечением 7,2 м² и длиной 896 м (длина основного штрека 710 м). Динамическая испытательная система РХ150612 фиксировала давление и наличие пламени в штреке (частота дискретизации 62,5 кГц, длина записи 256 тыс. точек). Взрывчатую метановоздушную смесь объемом 50 м³ с объемной концентрацией 8,3 % изолировали пленочной диафрагмой из полиэтилена толщиной 0,14 мм. На расстоянии 10–70 м от начала штрека равномерно рассыпали угольную пыль общей массой 65 кг (параметры пыли: выход летучих частиц более 40 %, частиц размером менее 0,075 мм — 85 %). Подрыв выполняли двумя промышленными детонаторами, взрывающими метановоздушную смесь с дальнейшим формированием пылевоздушного облака и взрыва пыли. Дистанция между местом взрыва и приемным щитом АСВП-ЛВ.1М составляла 60 м. В стенах штрека на расстояниях 60, 80 и 100 м от его начала располагались датчики пламени и давления динамической испытательной системы РХ150612. На участке штрека в интервале 60–100 м от начала были подвешены пластиковые полосы с шагом 1 м в качестве индикатора распространения пламени.

Во всех испытаниях автоматическая система АСВП-ЛВ.1М надежно локализовала взрывы пылевоздушной смеси. Китайские специалисты, получив положительные результаты при испытаниях, построили в провинции Шандун завод по изготовлению АСВП-ЛВ.1М по российской технической документации. Кроме России и Китая, АСВП-ЛВ.1М серийно выпускается на Украине.

По характеристикам данная система превосходит все известные аналоги в мире. Она многократно испытана и за много лет эксплуатации зарекомендовала себя как надежное средство взрывозащиты, локализовавшее реальные взрывы на угольных шахтах. Например, при аварии, произшедшей 11 февраля 2013 г. на шахте «Воркутинская» (взрыв метана и угольной пыли), заслон из двух АСВП-ЛВ.1М, установленный в поддерживаемом конвейерном штреке 832-ю, сработал эффективно: распространения ФП в выработанное пространство и на вентиляционный бремсберг 32-ю пласти «Тройной» не произошло [11]. Срабатывание автоматической системы подтверждается также Актом комиссионного осмотра установок автоматических систем взрывоподавления — локализации взрывов [12]. При расследовании аварии установлен факт долгого существования облака из огнетушащего порошка от сработавшего автоматического заслона. Согласно акту [12] по свидетельским показаниям горнорабочих, работавших в конвейерном штреке 832-ю пласти «Тройной» в 760 м южнее лавы 832-ю, воздушной волной, подшедшей со стороны лавы, одного из них сбило с ног, затем по выработке пролетели мелкие фракции угля

(штыб), после чего по струе начала поступать пыль белого (молочного) цвета. Это означает, что до горнорабочих дошла ослабленная затухающая УВВ от происшедшего взрыва пылеметановоздушной смеси, локализованного сработавшим автоматическим заслоном. Пыль белого (молочного) цвета — это облако огнетушащего порошка, не осевшее продолжительное время и распространяющееся по горной выработке на протяжении более 700 м [13].

Кроме высокой надежности и эффективности локализации взрывов пылегазовоздушных смесей автоматическая система АСВП-ЛВ.1М характеризуется удобством в эксплуатации, компактностью, простотой при монтаже и обслуживании. Она монтируется под кровлей горной выработки посредством анкерного крепления либо при помощи специальной крепежной конструкции (см. рисунок), в дальнейшем работает в режиме готовности и активируется УВВ, образованной в результате взрыва пылегазовоздушной смеси. От воздействия УВВ на приемный щит происходит динамическое выбрасывание в пространство горной выработки огнетушащего материала энергией сжатого воздуха (газа), находящегося под высоким давлением в рабочей полости системы. В результате в объеме горной выработки по всему сечению на пути распространения ФП формируется надежный заслон в виде долгоживущего облака огнетушащего материала во взвешенном состоянии. Этот заслон ликвидирует подошедший ФП (гасит его) и прекращает (локализует) процесс распространения взрывов по сети горных выработок (см. рисунок).

В качестве огнетушащего материала для снаряжения АСВП-ЛВ.1М используют высокоэффективные порошки, при концентрации которых выше 10 г/м³ в пространстве горной выработки взрыв метана или угольной пыли невозможен. Кратный запас высоколетучего огнетушащего порошка, находящегося во взвешенном состоянии до 1 тыс. с после срабатывания системы, исключает повторные взрывы. Для усиления инертизации шахтной атмосферы в

АСВП-ЛВ.1М допускается вместо сжатого воздуха применять любой другой сжатый газ (инертный или ингибиторный).

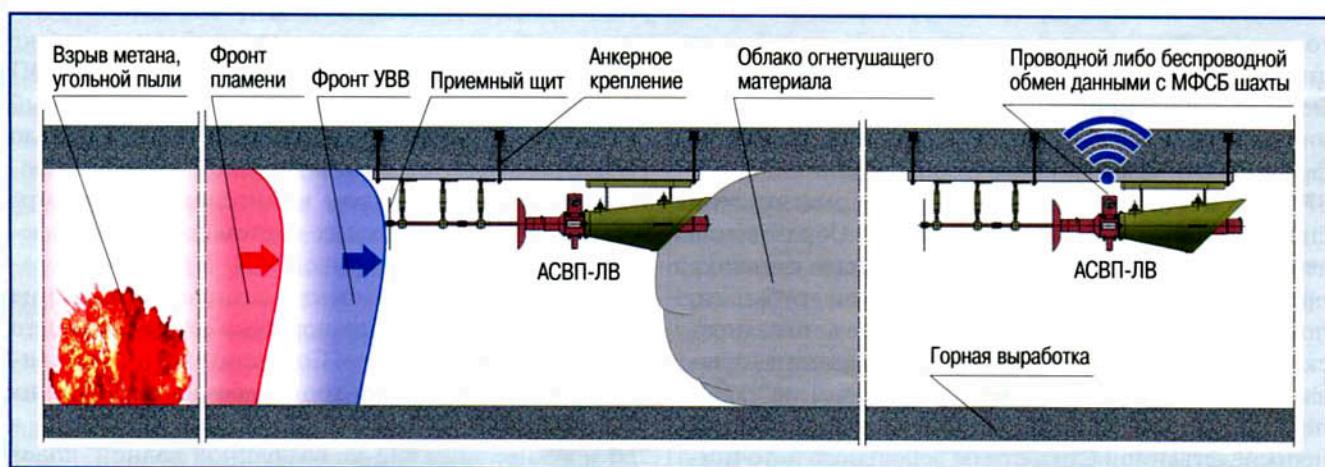
Разработка средств взрывозащиты, их совершенствование продолжаются постоянно. В настоящее время, согласно п. 22 [5], на угольных шахтах повсеместно внедряют МФСБ, в том числе системы контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок (ВЗГВ). Система ВЗГВ должна разрабатываться таким образом, чтобы в случае взрыва газа и (или) угольной пыли обеспечивалась его локализация в целях сохранения жизни и здоровья людей и материальных ценностей [14]. Для работы в составе ВЗГВ уже созданы, испытаны, запатентованы, сертифицированы и поставляются на угольные шахты многофункциональные автоматические системы взрывоподавления — локализации взрывов (АСВП-ЛВ.МФ). Их оснащают блоком контроля и управления, обеспечивающим связь по кабельному или беспроводному интерфейсу с МФСБ шахты и диспетчером, тем самым позволяя взрыволокализующему заслону интегрироваться в единую информационную систему шахты (см. рисунок). Применение АСВП-ЛВ.МФ на угольных шахтах дает возможность выполнить все требования нормативных документов о внедрении системы контроля и управления средствами взрывозащиты горных выработок в составе МФСБ.

Расстановку автоматических систем локализации взрывов в горных выработках проводят согласно инструкции [7]. При этом АСВП-ЛВ.МФ рекомендуется монтировать в наиболее ответственных зонах с повышенным выделением метана [15]:

- в горных выработках выемочных участков;
- в горных выработках, пройденных на границах выемочных участков, панелей, горизонтов и шахтного поля по каждому пласту;

- в подготовительных выработках, проводимых по углю или по углю и породе (на сопряжениях);

- в начале и конце горных выработок, оборудованных магистральными ленточными конвейерами



▲ Схема монтажа и принципа действия систем АСВП-ЛВ
▲ Installation diagram and principle of operation of ASVP-LV systems

(кроме горных выработок, по которым транспортируется только порода);

в местах размещения электрооборудования.

Заключение

Оснащение подземных горных выработок эффективными средствами взрывозащиты (автоматические системы АСВП-ЛВ.1М и АСВП-ЛВ. МФ) — значительный прогресс в области обеспечения безопасности угольных шахт. Однако, несмотря на достигнутые результаты, сотрудники ЗАО «МВК по ВД при АГН» продолжают работу в данном направлении. В планах — реализация автоматических систем с выносными датчиками, базирующимиися на различных принципах действия: датчиками ударной волны, инфракрасными датчиками излучения взрыва, датчиками контроля шахтной атмосферы [16]. Также запланировано создание продвинутой информационной системы, позволяющей более эффективно управлять срабатыванием средств взрывозащиты, например, по команде оператора или по факту возникновения взрыва заблаговременно изолировать шахтное крыло либо протяженную горную выработку, тем самым локализовав взрыв и снизив до теоретического минимума воздействие его вредных и поражающих факторов.

Список литературы

1. Горлов Ю.В. Инновации в области средств локализации взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах// Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. тр. V Междунар. практ. конф. — Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. — С. 212–215.
2. Мясников А.А., Старков С.П., Чикунов В.И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах. — М.: Недра, 1985. — 205 с.
3. ГОСТ Р 56690—2015. Оборудование горно-шахтное. Пассивные средства локализации взрывов. Сланцевый залон. Общие технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200126799> (дата обращения: 18.07.2018).
4. Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента Российской Федерации от 6 мая 2018 г. № 198. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43022> (дата обращения: 18.07.2018).
5. Правила безопасности в угольных шахтах: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — 5-е изд., испр. и доп. — Сер. 05. — Вып. 40. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 198 с.
6. Джигрин А.В., Квагинидзе В.С., Разумняк Н.Л. Концепция эффективной безопасной разработки высокогазоносных пологих угольных пластов подземным способом в сложных горно-геологических условиях// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — Отд. вып. 9. — С. 131–138.
7. Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — 2-е изд., испр. — Сер. 05. — Вып. 25. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2018. — 48 с.
8. ГОСТ Р 57717—2017. Горное дело. Безопасность в угольных шахтах. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200147096> (дата обращения: 20.07.2018).
9. Параметры распространения в выработках ударных и детонационных волн, образующихся при взрыве пылево-метановоздушной смеси/ Н.Н. Смирнов, В.Ф. Никитин, А.В. Антоньев, И.Р. Исаев// Взрывное дело. — 2013. — № 109/66. — С. 229–238.
10. Горлов Ю.В. Разработка и внедрение нового средства локализации взрыва метана и угольной пыли в подземных горных выработках (АСВП-ЛВ)// Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. — Кемерово: ИУУ СО РАН, 2005. — С. 185–189.
11. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. — № 4 (67). — 64 с.
12. Акт комиссионного осмотра установок автоматических систем взрывоподавления — локализации взрывов АСВП-ЛВ и АСВП-ЛВ.1М, эксплуатируемых на аварийном участке лавы 832-ю пл. Тройного СП «Шахта Воркутинская». — Воркута, 2013. — 4 с.
13. Горлов Ю.В. Инновационная разработка в области обеспечения безопасности угольных шахт, опасных по газу и пыли// Горная промышленность. — 2013. — № 6 (112). — С. 41–47.
14. ПНСТ 162—2016. Оборудование горно-шахтное. Системы автоматизированные многофункциональные безопасности и управления технологическими процессами в шахте. Общие технические требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200142495> (дата обращения: 20.07.2018).
15. Технические и технологические решения по разработке высокогазоносных пологих угольных пластов/ А.В. Джигрин, Н.Л. Разумняк, В.В. Мельник, А.А. Кавардаков// Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. тр. V Междунар. практ. конф. — Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. — С. 47–51.
16. Технологии добычи угля без постоянного присутствия людей в рабочем пространстве/ А.В. Джигрин, В.В. Мельник, Н.Л. Разумняк, М.Г. Лупий// Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. тр. V Междунар. практ. конф. — Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. — С. 13–18.

gorlov@mvmkmine.ru

Материал поступил в редакцию 15 августа 2018 г.

**«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2018, № 9, pp. 13–19.
DOI: 10.24000/0409-2961-2018-9-13-19**

Coal Mines Blast Protection with the Use of Automatic Blast Localization Systems

**Yu.V. Gorlov, Cand. Sci. (Eng.), General Director,
gorlov@mvmkmine.ru**

ZAO IDC on ES within the AMS, Moscow, Russia